

Tommi Ristimäki

# **VAATIMUSTENHALLINTA YDINLAITOK- SEN JÄRJESTELMÄHANKINNOISSA**

Johtamisen ja talouden tiedekunta  
Diplomityö  
Huhtikuu 2019

## TIIVISTELMÄ

Tommi Ristimäki: Vaatimustenhallinta ydinlaitosten järjestelmähankinnoissa  
Diplomityö, 76 sivua, 1 liitesivua  
Tampereen yliopisto  
Tuotantotalouden diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma  
Pääaine: Tuotantotalous  
Tarkastajat: professori Marko Seppänen ja yliopisto-opettaja Anu Suominen  
Huhtikuu 2019

---

Avainsanat: vaatimustenhallinta, vaatimusmäärittely, ydinturvallisuus, YVL, ydinlaitos

Vaatimustenhallinta on tärkeä osa järjestelmäsuunnittelua. Systemaattinen ja ajatuksella rakennettu vaatimusmäärittely on usein yksi tärkeimmistä lähtökohdista onnistuneelle järjestelmäprojektille. Vaatimusmäärittelyn rooli kasvaa entisestään viestittäessä vaatimuksia kansainvälisille toimijoille järjestelmää hankittaessa. Vaatimusten hyvä jäljitettävyys ja hallittavuus luovat hyvän perustan järjestelmähankinnoille.

Tässä työssä tutkitaan vaatimustenhallintaa ydinlaitoksen järjestelmähankinnoissa. Suomalainen ydinlainsäädäntö ja sitä valvova viranomaisen omaavat erityispiirteitä, jotka erottavat ne muiden maiden vastaavista. Ydinlaitoksen järjestelmiä hankittaessa sidosryhmien luvanhaltijalle asettamat vaatimukset on pystyttävä viestimään myös kansainvälisten järjestelmätoimittajien kanssa. Tämän diplomityön tavoitteena oli tutkia, miten vaatimuksia kannattaa turvallisuuskriittisissä järjestelmissä hallita, ja miten vaatimusten jäljitettävyyttä ja hallittavuutta voidaan edesauttaa kohdeyrityksen järjestelmähankinnoissa.

Tavoitteiden toteuttaminen edellytti perehtymistä ydinturvallisuuteen, vaatimustenhallintaan sekä räätälöityjen järjestelmien hankintaan liittyvään teoriaan. Tutkimuksen empiiria kerättiin kohdeyrityksen järjestämistä koulutuksista, kohdeyrityksen sisäisestä materiaalista sekä kohdeyrityksen henkilöstön haastatteluista.

Työssä analysoitiin kohdeyrityksen vaatimustenhallinnan menettelyiden nykytilasta sekä laadittiin lista suosituksista, joiden avulla nykytilaa on mahdollista kehittää erityisesti ulkoisten sidosryhmien kannalta. Lisäksi työn aikana syntyi kohdeyrityksen käyttöön taulukkomuotoinen työkalu, jolla vaatimuksia on mahdollista kootusti hallita säilyttäen niiden jäljitettävyys.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

## ABSTRACT

Tommi Ristimäki: Requirement management in nuclear plant's system acquisitions  
Master's Thesis, 76 pages, 1 appendix pages  
Tampere University  
Master's Degree Programme in Industrial Management and Engineering  
Major: Industrial Management  
Examiners: Professor Marko Seppänen and University instructor Anu Suominen  
April 2019

---

Keywords: requirement management, requirement engineering, nuclear safety, YVL, nuclear plant

Requirement management is an essential part of system engineering. Systematic and well-built requirements specification is a prerequisite for a successful system implementation. During system acquisitions, the role and importance of requirements specification gradually increases as requirements are communicated over to international stakeholders. In such case, the traceability and controllability are the very foundation of a successful system acquisition.

In this thesis, it is analysed how requirements should be controlled when systems are purchased into a nuclear plant in Finland. The Finnish authorities that oversee the nuclear industry in Finland, are recognized to be among the strictest in the world. It is essential that requirements originating from stakeholders like authorities can be communicated over to international suppliers that are not familiar with Finnish legislation. The goal of this thesis was to analyze how requirements for safety critical systems can be managed in a way that contributes a case company during system acquisition.

In order to meet the goals of this thesis, it was necessary to be familiarized with literature about nuclear safety, requirement management and purchasing of Engineered-to-Order systems. The empirical material was collected from requirement management related training and case company's internal documentation. Some key personnel were also interviewed regarding system acquisitions and requirement related matters.

As a result, a few suggestions were made how the case company could improve the current requirement management procedures especially keeping its external stakeholders in mind. The results also include a matrix-based tool for managing requirements.

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

## ALKUSANAT

En tarkalleen ottaen tiennyt mihin olin ryhtymässä, kun vuonna 2014 osana maisteriopintojen hakuprosessia kirjoittelin motivaatiokirjettä. Matkan varrelle on mahtunut turhautumista, oppimisen iloa, onnistumisia sekä puhdasta epätoivoa.

Haluan ensimmäiseksi kiittää Annikaa tämän matkan mahdollistamisesta ja kaikesta saamastani tuesta. Kiitokset ansaitsevat myös te kaikki, jotka olette omalta osaltanne olleet positiivisesti vaikuttamassa tämän matkan etenemiseen ja päättymiseen.

Porissa, 07.04.2019

Tommi Ristimäki

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
1.1	Taustaa tutkimukselle.....	1
1.2	Tutkimuskysymykset ja työn tavoite.....	3
1.3	Tutkimuksen ja työn rajaus .....	4
2.	TEORIATAUSTA .....	6
2.1	Ydinturvallisuusvaatimukset.....	6
2.1.1	Ydinturvallisuutta määrittävät tahot ja viranomaiset.....	6
2.1.2	Ydinturvallisuuteen liittyvät säännöt.....	7
2.1.3	YVL-ohjeet .....	10
2.1.4	Keskeisimmät turvallisuusperiaatteet .....	11
2.1.5	Turvallisuuskulttuuri.....	12
2.1.6	Ydinlaitosten lupamenettelyt .....	13
2.1.7	Järjestelmien turvallisuusluokitukset .....	15
2.2	Vaatimustenhallinta.....	16
2.2.1	Vaatusmäärittely .....	19
2.2.2	Tavoitepohjainen vaatimusmäärittely .....	25
2.2.3	Vaatimusten muutostenhallinta.....	26
2.2.4	Vaatimusten jäljittäminen ja täyttymisen hallinta.....	29
2.2.5	Vaatusmäärittelyissä yleisesti tunnistetut ongelmat .....	32
2.2.6	Vaatimustenhallinnan hyvät käytännöt.....	35
2.2.7	Vaatimustenhallinta ydinlaitoksissa.....	37
2.3	Hankintatoimen ja vaatimustenhallinnan suhde.....	39
2.3.1	Hankintatoimi yleisesti .....	39
2.3.2	Hankintatoimen strateginen merkitys .....	39
2.3.3	Proaktiivinen hankinta .....	42
2.3.4	Hankintaprosessi .....	43
2.3.5	Räätälöinnin vaikutus hankintaan .....	45
2.3.6	Hankintaspesifikaatio ja vaatimukset.....	46
3.	MENETELMÄ JA AINEISTO.....	49
3.1	Tutkimusstrategia ja -menetelmät .....	49
3.2	Toteutus ja aineisto.....	50
4.	SUOSITUKSET VAATIMUSTENHALLINNAN JA HANKINNAN KÄYTÄNTÖIHIN KOHDEYRITYKSESSÄ.....	53
4.1	Nykytilanne yrityksen vaatimustenhallinnassa ja siihen liittyvissä käytännöissä.....	53
4.2	Nykytilanne järjestelmien hankintamenettelyissä.....	58
4.3	Koetut ongelmat .....	58
4.3.1	Vaatimustenhallinta, vaatimusdokumentit ja spesifikaatiot.....	58
4.3.2	Hankinta ja suomalaisen ydinalan erityispiirteet .....	62

4.4	Suositukset vaatimustenhallintakäytäntöihin .....	63
4.4.1	Vaatimustaulukko .....	67
4.4.2	Tarkistuslista .....	68
5.	YHTEENVETO .....	69
5.1	Keskeiset tulokset.....	69
5.2	Työn arviointi ja rajoitteet.....	69
5.3	Jatkokehitysehdotukset.....	71
LÄHTEET.....		72

LIITE A: Vaatimustaulukko

## KUVALUETTELO

<b>Kuva 1.</b>	<i>Vaatimusten dynaamisuus (Sommerville 2009 mukaillen)</i> .....	2
<b>Kuva 2.</b>	<i>Laitehankintojen vaiheistus kohdeyrityksessä (Kohdeyrityksen sisäinen dokumentaatio)</i> .....	3
<b>Kuva 3.</b>	<i>Säännösten hierarkia (STUK 2013 ja STUK 2004 mukaillen)</i> .....	9
<b>Kuva 4.</b>	<i>Suomessa ydinvoima-alalla noudatettavia standardeja (FinNuclear 2018 mukaillen)</i> .....	10
<b>Kuva 5.</b>	<i>Lupamenettelyt ydinlaitoksen elinkaaren aikana (Ydinenergialaki 990/1987, 1987)</i> .....	14
<b>Kuva 6.</b>	<i>Vaatimustenhallinta ja käsitteistö (Leffingwell &amp; Widrig 1999 mukaillen)</i> .....	16
<b>Kuva 7.</b>	<i>Vaatimustenhallinta (Lopez 2011 mukaillen)</i> .....	17
<b>Kuva 8.</b>	<i>Vaatimustenhallinta osana järjestelmäsuunnittelua (Hood et al. 2008 mukaillen)</i> .....	18
<b>Kuva 9.</b>	<i>Järjestelmän ja ympäristön välinen rajapinta (Paakki 2011 mukaillen)</i> .....	19
<b>Kuva 10.</b>	<i>Vaatimusmäärittelyn syötteet ja tulokset (Kotonya &amp; Sommerville 1997 mukaillen)</i> .....	20
<b>Kuva 11.</b>	<i>Vaatimusmäärittely iteratiivisena prosessina (Wiegers 2003 ja Kotonya &amp; Sommerville 1997 mukaillen)</i> .....	21
<b>Kuva 12.</b>	<i>Järjestelmän rajapinnat (Leffingwell &amp; Widrig 1999 mukaillen)</i> .....	21
<b>Kuva 13.</b>	<i>Vaatimusten analysointi (Sommerville &amp; Sawyer 1997 mukaillen)</i> .....	23
<b>Kuva 14.</b>	<i>Vaatimusten validoinnin panokset ja tulokset (Kotonya &amp; Sommerville 1997 mukaillen)</i> .....	24
<b>Kuva 15.</b>	<i>Tavoitepohjaisen vaatimusmäärittelyn eri vaiheet (Renlund &amp; Taskinen 2004 mukaillen)</i> .....	26
<b>Kuva 16.</b>	<i>Muutosten lähteet (Hood et al. 2008 mukaillen)</i> .....	27
<b>Kuva 17.</b>	<i>Ilmoitusluontoinen ja hyväksyntäperusteinen muutostenhallinta (Hood et al. 2008 mukaillen)</i> .....	28
<b>Kuva 18.</b>	<i>Vaatimusten jäljittämisen dimensiot (Gotel 1995 mukaillen)</i> .....	30
<b>Kuva 19.</b>	<i>Vaatimusten jäljittäminen suhteessa vaatimusdokumenttiin (Gotel ja Finkelstein 1994 mukaillen)</i> .....	30
<b>Kuva 20.</b>	<i>V-malli (Wiegers 2003 ja Hood et al. 2008 mukaillen)</i> .....	32
<b>Kuva 21.</b>	<i>Virheen korjaamisen suhteelliset kustannukset eri vaiheissa (Wiegers 2003 mukaillen)</i> .....	35
<b>Kuva 22.</b>	<i>Suunnittelualoja koskevat YVL-ohjeet</i> .....	38
<b>Kuva 23.</b>	<i>Kraljicin portfoliomatriisi (van Weele 2010 mukaillen)</i> .....	41
<b>Kuva 24.</b>	<i>Hankintaprosessi ja hankintaan liittyvät termit (van der Puil &amp; van Weele 2014 mukaillen)</i> .....	44
<b>Kuva 25.</b>	<i>Ostotilanteet (Johnsen et al. 2014, s. 34 mukaillen)</i> .....	45

<b>Kuva 26.</b>	<i>Yksityiskohtaiset ja funktionaaliset spesifikaatiot (Johnsen et al. 2014 s.36 mukaillen) .....</i>	<i>47</i>
<b>Kuva 27.</b>	<i>Kohdeyrityksen konfiguraationhallintaan liittyvät vaiheistukset. ....</i>	<i>54</i>
<b>Kuva 28.</b>	<i>Vaatimusten kohdealueet (Kohdeyrityksen sisäinen dokumentaatio) .....</i>	<i>55</i>
<b>Kuva 29.</b>	<i>Laitosjärjestelmien vaatimusten hierarkia kohdeyrityksessä (Kohdeyrityksen sisäinen dokumentaatio).....</i>	<i>56</i>



## LYHENTEET JA MERKINNÄT

ALARA	engl. As Low As Reasonably Possible, säteilysuojelun optimointiperiaate
baseline	engl. Lähtökohta, vertailukohta
DOORS	engl. IBM Rational DOORS, tietokantapohjainen vaatimustenhallintatyökalu
ELY-keskus	suom. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
Euratom	engl. Euroopan atomienergiayhteisö
et. al	lat. et alii tai et alie, ja muut
EYT	suom. Ei ydinteknisesti turvallisuusluokiteltu
FinNuclear Oy	suom. Palveluyhtiö, joka tuottaa palveluita ydinvoima-alalla toimiville yrityksille
FOAK	eng. First of a kind, ensimmäinen laatuaan
IAEA	engl. International Atomic Energy Agency, kansainvälinen atomienergiayhteisö
ICRP	engl. International Commission on Radiological Protection, kansainvälinen säteilysuojelutoimikunta
konfiguraatio	suom. Vaatimusten asettama kokonaisuus
konfiguraatioyksikkö	suom. Suunniteltu, puolivalmis tai valmis tuote, jota tarkastellaan yksittäisenä kokonaisuutena konfiguraationhallinnassa
luvanhaltija	suom. Luvanhaltija vastaa luvanvaraisen toiminnan edellytyksistä ja sidosryhmävaatimusten täyttymisestä
milestone	engl. merkkipaalu, virstanpylväs
NASA	engl. National Aeronautics and Space Administration, Yhdysvaltain liittohallituksen alainen ilmailu- ja avaruushallintovirasto
OL3	suom. Olkiluotoon rakennettava kolmas ydinreaktori
SAHARA	engl. Safety As High As Reasonably Possible, ydinlaitoksia koskeva turvallisuusperiaate
scope creep	engl. jatkuvat tai kontrolloimattomat muutokset projektin laajuuteen tai vaatimuksiin liittyen
SFL	suom. Säteilyfysiikan laitos
STUK	suom. Säteilyturvakeskus
TEM	suom. Työ- ja elinkeinoministeriö
TL1-3	suom. Ydinteknillinen turvallisuusluokka
VAHA	suom. kohdeyrityksen vaatimustenhallintajärjestelmä
VTT	suom. Teknologian tutkimuskeskus Oy
WENRA	engl. Western European Nuclear Regulators Association
ydinlaitos	suom. Ydinenergian tuottamiseen tarkoitettu laitos, tutkimusreaktori tai ydinjätteen laajamittaiseen valmistamiseen, tuottamiseen, käyttämiseen, käsittelyyn tai varastointiin liittyvä laitos
YVL-ohje	Ydinturvallisuusohjeet (STUK)

# 1. JOHDANTO

Ydinlaitoksiin liittyy turvallisuusriski, joka aiheutuu ydinpolttoaineen sisältämistä radioaktiivisista aineista. Nämä aineet vapautuessaan aiheuttavat radioaktiivisia päästöjä, jotka puolestaan voivat aiheuttaa vahinkoa niin ihmiselle, ympäristölle kuin omaisuudellekin (Sandberg, 2004). Turvallisuusriskeistä johtuen ydinlaitoksien rakentaminen on Suomessa luvanvaraista ja tarkoin valvottua. Suomessa luvan ydinlaitoksen rakentamiseen ja käyttöön myöntää valtioneuvosto (Ydinenergialaki, 990/1987 § 16).

Tärkeimpänä ydinlaitoksen käytön edellytyksenä on ydinlaitoksen turvallisuus, joka on pidettävä niin korkealla kuin käytännössä on mahdollista. Turvallisuuden takaamiseksi ydinlaitoksen on täytettävä Suomen lain, valtioneuvoston, turvallisuusviranomaisten, kansainvälisten atomienergiayhteisöjen sekä soveltuvien standardien asettamat turvallisuusvaatimukset. On ydinlaitoksen luvanhaltijan vastuulla varmistua siitä, että laitos rakennetaan turvallisuusvaatimusten mukaisesti hyväksytyjä suunnitelmia käyttäen (YVL A.5). Suomessa ydinlaitosten turvallisuusvalvonnasta vastaa Säteilyturvakeskus (STUK), joka valvoo kaikkia Suomessa olevia ydinlaitoksia.

Tässä työssä tutkitaan, miten Suomen lainsäädännön erityispiirteet ja viranomaisten asettamat turvallisuusperusteiset vaatimukset voidaan hallitusti saattaa ydinlaitokseen hankittavien järjestelmien koko toimitusketjun tietoisuuteen. Vaatimustenhallintaan liittyvä problematiikka korostuu entisestään hankittaessa ydinlaitoksiin liittyviä järjestelmiä ulkomaisilta järjestelmätoimittajilta. Lisäksi työssä tutkitaan sitä, miten vaillinaisista lähtötiedoista johdettuja vaatimuksia voidaan hallita hankintaprosessin aikana. Diplomityön tavoitteena on tutkia sitä, miten vaatimustenhallinta ja vaatimusten muutostenhallinta voidaan toteuttaa dynaamisesti ydinlaitoksen järjestelmien hankinnassa.

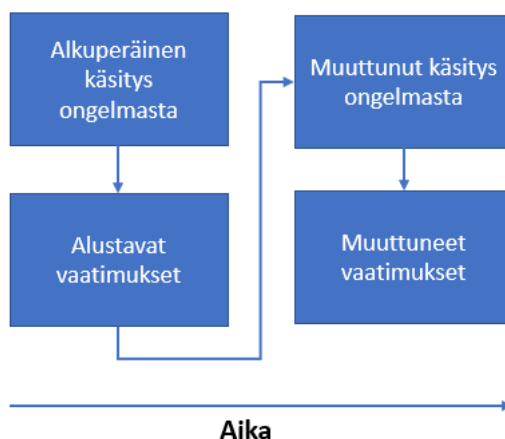
## 1.1 Taustaa tutkimukselle

Ydinlaitoksen rakentaminen vaatii Suomessa valtioneuvoston myöntämän rakentamisluvan. Rakentamislupaa varten on Eduskunnan ensin annettava periaatepäätös siitä, että laitoksen rakentaminen on koko yhteiskunnan kokonaisedun mukaista. Rakentamisluvan saamiseksi luvanhaltijan on myös täytettävä ydinenergialain § 19:n määrittelemät vaatimukset. Täyttääkseen nämä vaatimukset luvanhaltijan on laadittava laitoksesta rakentamislupahakemus ja toimitettava aineisto Työ- ja Elinkeinoministeriölle (TEM). Lisäksi luvanhaltijan on toimitettava rakentamislupahakemuksen aineiston sisältämä alustava turvallisuusseloste STUK:lle hyväksyttäväksi. Rakentamislupa-aineiston tulee sisältää muun muassa kuvaukset laitoksen toimintaperiaatteesta, periaatteelliset kuvaukset sen sisältämistä järjestelmistä ja järjestelmille asetetuista viranomaisperäisistä turvalli-

suusvaatimuksista. Suomessa STUK asettaa ydinlaitoksia koskevat turvallisuusvaatimukset ydinturvallisuusohjeiden (YVL-ohje) avulla. YVL-ohjeet ovat tätä työtä kirjoitettaessa päivityksen alla. STUK julkaisee uudet päivitetyt ohjeet odotettavasti vuoden 2019 aikana.

Tutkimuksen kohteena toimii Suomeen rakennettava FOAK (first of a kind) ydinlaitoshanke. Laitos tulee sisältämään varta vasten suunniteltuja ainutkertaisia järjestelmiä, jotka ottavat osaa laitoksessa toteutettavaan prosessiin. Laitoksen luvanhaltija on tehnyt laitoksen järjestelmistä alustavan konseptisuunnittelun, jonka perusteella järjestelmille on laadittu alustavat järjestelmäaineistot ja vaatimusmäärittelyt. Konseptiin perustuvan aineiston pohjalta luvanhaltija on tehnyt rakentamislupahakemuksen. STUK on arvioinut hakemuksen ja antanut siitä turvallisuusarvion. Valtioneuvosto on myöntänyt laitokselle rakentamisluvan.

Luvanhaltija on aloittanut laitoksen järjestelmien hankintojen kilpailuttamisen valtioneuvostolta saamansa rakentamisluvan perusteella. Osana tarjouspyyntöaineistoa luvanhaltija on toimittanut järjestelmätoimittajaehdokkaille konseptisuunnitteluun pohjautuvat vaatimusmäärittelyt ja järjestelmäaineistot. Tilanne on sekä hankinnan että vaatimustenhallinnan näkökulmasta haastava; kokematon luvanhaltija, uudentyyppinen ydinlaitos, monisäikeinen dokumentaatio ja tapauskohtainen YVL-ohjeiden tulkinta aiheuttavat hankintaprosessiin vaatimusten osalta epäselvyyttä. Tilannetta on havainnollistettu kuvassa 1.



**Kuva 1.** *Vaatimusten dynaamisuus (Sommerville 2009 mukailleen)*

Normaalista käytännöstä poiketen luvanhaltija toimii tässä tapauksessa ydinlaitoshankkeessa laitostoimittajana ja hankkii laitokseen liittyvät järjestelmät tapauskohtaisesti joko kotimaisilta tai kansainvälisiltä laitetoimittajilta. Järjestelmähankinnat on sopimusrakenteessa jaettu kolmeen vaiheeseen: 1. suunnittelu ja viranomaishyväksynnät, 2. valmistus ja tehdastestit ja 3. toimitus, asennus ja käyttöönotto. Edellä mainittua vaiheistusta on havainnollistettu kuvassa 2. Järjestelmähankinnoissa haasteita syntyy erityisesti kansainvälisten laitetoimittajien kanssa, joille sekä suomalaisen lainsäädännön että

suomalaisen viranomaisen toiminnan erityispiirteet eivät ole ennestään tuttuja. Tilanteen problematiikka nousee esille varsinkin silloin, kun huomioon otetaan myös aikaisemmin mainitut vaatimustekniset haasteet. Näistä syistä johtuen olisi tärkeä ymmärtää, miten kuvatun kaltaisessa dynaamisessa tilanteessa järjestelmien vaatimusmäärittelyt ja spesifikaatiot tulisi laatia, jotta ne palvelisivat kaikkia sidosryhmiä mahdollisimman hyvin.



**Kuva 2.** *Laitehankintojen vaiheistus kohdeyrityksessä (Kohdeyrityksen sisäinen dokumentaatio)*

Tämän työn ensimmäinen kappale sisältää johdannon ja tutkimuskysymyksien esittelyn sekä työn rajauksen. Kappaleessa kaksi esitellään aiheeseen ja tutkimuskysymyksiin liittyvää, olemassa olevaa kirjallisuutta. Kolmannessa kappaleessa esitellään työssä käytetyt tutkimusmenetelmät. Neljännessä kappaleessa esitellään kohdeyrityksen nykytilanne sekä suositukset nykytilanteen kohentamiseksi. Viides kappale toimii työn yhteenvedona ja esittelee johtopäätökset sekä jatkokehitysehdotukset.

## 1.2 Tutkimuskysymykset ja työn tavoite

Työssä tutkittava ongelma keskittyy ydinlaitoksen järjestelmähankintoihin liittyvään vaatimustenhallintaan. Aihe valikoitui kohdeyrityksen ehdotuksesta kirjoittajan omien työtehtävien aikana tehtyjen havaintojen perusteella sekä haluna kehittää omassa työssä käytettäviä työkaluja.

Työhön tunnistettiin kaksi pää tutkimuskysymystä sekä niille yhteensä neljä apukysymystä. Tutkimuskysymykset apukysymyksineen on listattu alla.

1. Miten epätäydellisistä vaatimusmäärittelyistä johtuvaa epävarmuutta voitaisiin hallita hankintaprosessissa?
  - a. Mikä on vaatimusmäärittely?
  - b. Mitä ovat tyypilliset puutteet vaatimusmäärittelyissä ja mistä puutteet johtuvat?
  - c. Millainen on hankintaprosessi?
  - d. Mihin osiin hankintaprosessia edellä mainitut puutteet liittyvät?
2. Millä tavoin vaatimusmäärittelyn toteutumista hallitaan ja dokumentoidaan?
  - a. Mitä ovat suomalaisen lainsäädännön erityispiirteet ja miten ne voidaan viestiä kansainvälisille sidosryhmille?

- b. Miten vaatimusmäärittelyn prosessi tulisi rakentaa tukemaan vaatimustenhallintaa, dokumentointia ja kansainvälistä viestintää?

Työn tavoitteena on etsiä vastauksia tutkimuskysymyksille niin teoreettisen kuin empiiristen tarkastelujen avulla. Lisäksi tarkoitus on luoda ymmärrys siitä, miten monimutkaisten ja paljon epävarmuutta sisältävien järjestelmien vaatimustenhallinta tulisi järjestää järjestelmien hankintojen sujuvoittamiseksi. Tutkimuksen apukysymyksien tarkoitus on toimia ohjaavina kysymyksinä pääkysymyksille.

Työssä perehdytään ensin ydinturvallisuuteen ja luodaan siten aiheelle tarvittava viitekehys. Ensimmäinen tutkimuskysymys koskee vaatimusten hallittavuutta ydinlaitoksen järjestelmien hankintaprosessin aikana. Tähän kysymykseen liittyen työssä pureudutaan vaatimustenhallintaan ja hankintaprosessiin liittyvään teoriaan. Toisen pääkysymyksen osalta teoreettinen tarkastelu käsittää viitekehysten kautta löydettyjen suomalaisen lainsäädännön erityispiirteiden kartoittamisen. Lisäksi työssä etsitään keinoja vaatimusmäärittelyiden laatimiseksi siten, että niiden hallinta sekä sisällön viestintä olisi mahdollisimman suoraviivaista.

Molempiin tutkimuskysymyksiin liittyen kohdeyrityksessä suoritetaan empiirinen tarkastelu nykytilan ja ongelmakohtien kartoittamiseksi. Työn lopputuloksena on tarkoitus löytää ja esittää konkreettisia keinoja ja työkaluja, joilla vaatimusmäärittelyt ja vaatimusedokumentaatio olisivat jatkossa helposti hallittavissa ja kommunikoitavissa myös kansainvälisille sidosryhmille.

### 1.3 Tutkimuksen ja työn raja

Vaatimusten osalta tutkimus rajataan koskemaan Suomen lainsäädännön ja viranomaisien erityispiirteitä. Raja on tarpeellinen suuren lähdemateriaalin vuoksi ja siten tutkimuskentän rajoittamiseksi järkeväksi kokonaisuudeksi. Samat periaatteet pätevät myös muiden lähteiden vaatimuksille.

Vaatimustenhallinta on yleisesti hyvin monimuotoinen aihealue ja siksi työssä on pyritty ottamaan selvää siitä, mitä vaatimustenhallinta pääpiirteittäin on ja miten vaatimuksia yleisesti voidaan hallita. Lisäksi työssä pureudutaan siihen, mikä on vaatimusmäärittely, kuinka se tulee tehdä, mitä yleisesti tunnettuja ongelmia siihen liittyy sekä mitä hyviä käytäntöjä niihin liittyen on yleisesti tunnistettu. Näihin kysymyksiin on etsitty vastauksia olemassa olevasta kirjallisuudesta. Vaatimustenhallinnan osuudesta on rajattu pois vaatimustenhallinnan prosessi ja siihen liittyvä käytännön praktiikka. Lisäksi vaatimusmäärittelyn käsittelystä on rajattu pois vaatimusmäärittelyyn johtavan ongelmakentän sekä erilaisten vaatimustyyppien käsittely.

Hankintatoimea työssä on käsitelty soveltuvien osien vaatimustenhallintaan ja engineer-to-order (ETO) tyyppiseen toimintaan liittyen. Työstä on rajattu pois hankintaprosessin

laajempi esittely ja keskitytty työn kontekstin edellyttämään osuuteen. Lisäksi työstä on rajattu pois hankinnan sopimustekniset ja juridiset näkökulmat.

## 2. TEORIATAUSTA

Tässä luvussa perehdytään työn suorittamiseen tarvittavaan teoriataustaan ja luodaan tutkimuskysymyksien vastaamiseen tarvittava viitekehys. Ydinlaitoksista puhuttaessa turvallisuus on aina ensimmäinen ja tärkein asia. Siksi tässä luvussa luodaan aluksi katsaus ydinturvallisuuteen ja siihen liittyville periaatteille, ydinturvallisuuteen liittyville vaatimuksille sekä sille, mistä nämä vaatimukset ovat peräisin. Teoriaosuus jatkuu vaatimustenhallinnan ja vaatimusmäärittelyyn liittyvien teorioiden ja käytäntöjen esittelyllä. Lopuksi tässä kappaleessa käydään läpi hankintaprosessia ja räätälöityihin hankintoihin liittyviä seikkoja.

### 2.1 Ydinturvallisuusvaatimukset

Ydinenergialain mukaan ydinlaitoksen rakentaminen ja käyttö tulee olla turvallista ja yhteiskunnan kokonaisedun mukaista. Ydinlaitoksen luvanhakijan/-haltijan on ydinenergialain mukaan varmistettava, että ydinlaitos järjestelmineen toteuttaa kaikki sille asetetut turvallisuusvaatimukset (Ydinenergialaki 990/1987, 1987).

#### 2.1.1 Ydinturvallisuutta määrittävät tahot ja viranomaiset

Kansainvälinen atomienergiajärjestö (International Atomic Energy Agency, IAEA) edistää tahollaan ydinenergian rauhanomaista ja turvallista käyttöä, sekä laatii ydin- ja säteilyturvallisuuteen liittyviä ohjeita. IAEA:n laatimat ohjeet eivät ole sitovia (Sandberg, 2004).

Euroopan unioni ohjaa jäsenmaitaan ydinlaitosten turvallisuutta koskevalla, vuonna 2009 julkaistulla ydinturvallisuudirektiivillään (NDir 2009/71/Euratom). Direktiivi pohjautuu Euroopan Atomienergiayhteisön (Euratom) perustamissopimukseen, jonka mukaan jäsenmaiden on määriteltävä yhtenäiset turvallisuusmääräykset väestön ja työntekijöiden suojelemiseksi.

Läntisen Euroopan Ydinvalvojien Yhdistys (Western Europe Nuclear Regulators Association, WENRA) on eurooppalainen yhteistyöfoorumi, jonka jäseniin kuuluvat Euroopan ydinenergiaa käyttävien maiden ydinenergian käyttöä valvovien viranomaisten lisäksi myös Sveitsin viranomaiset. WENRA:n tarkoituksena on yhtenäistää ja kehittää kansainvälisiä ydinturvallisuusvaatimuksia. WENRA on julkaissut niin sanotut referenssivaatimukset, jotka on integroitu myös suomalaiseen lainsäädäntöön (STUK, 2015; WENRA, 2018).

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) on ylin ydinenergian käyttöä valvova taho Suomessa. TEM on vastuussa suomalaisen ydinlainsäädännön kehittämisestä ja sen muutosten valmistelusta. TEM myös ohjaa ydinjätehuollon suunnittelua ja toteutusta. TEM edustaa Suomea kansainvälisissä atomienergiayhteisöissä, kuten esimerkiksi IAEA:ssa. STUK kuuluu TEM:n alaisuuteen (Työ- ja Elinkeinoministeriö, 2019a)

Sekä säteilylain että ydinenergilain noudattamista Suomessa valvoo STUK (Säteilylaki 592/1991, 1991). Valvontaan osallistuu STUK:n lisäksi myös muita valtionhallinnon ja aluehallinnon organisaatiota, kuten esimerkiksi Ympäristöministeriö, aluehallintovirastot, ELY-keskukset sekä sijaintikunnat (Työ- ja Elinkeinoministeriö, 2019a). STUK asettaa ydinenergilain antamalla mandaatilla ydinlaitoksia sitovat, yksityiskohtaiset turvallisuusvaatimukset YVL-ohjeillaan. Ydinlaitoksen turvallisuus on ydinenergilain mukaan kuitenkin kokonaan luvanhaltijan vastuulla. STUK valvoo luvanhaltijoiden toimintaa sekä asettamiensa vaatimusten ja määräysten noudattamista. STUK:n tehtävät kattavat kaikki ydin- ja säteilyturvallisuuteen liittyvät asiat Suomessa. STUK osallistuu ydinenergilain mukaan myös ydinlaitoksiin liittyvien lupahakemusten käsittelyyn antamalla niistä turvallisuusarvioita, joiden lisäksi STUK myös valvoo lupaehtojen noudattamista ja antaa ehdotuksia toimialansa lainsäädännön kehittämiseksi (Sandberg, 2004).

### **2.1.2 Ydinturvallisuuteen liittyvät säännöt**

Kussakin maassa maan omat kansalliset viranomaiset arvioivat kansainväliset ohjeet ja suositukset ja sovelletusti toteuttavat ne oman maansa lainsäädännössä. Suomessa ydinturvallisuuteen liittyvän säännöshierarkian perustana on Suomen perustuslaki 731/1999. Perustuslaissa säädetään yksilön oikeudesta turvallisuuteen, hänen omaisuutensa turvaamisesta sekä vastuusta luontoa ja ympäristöä kohtaan. Perustuslaissa säädetään myös valtiovallan velvollisuudesta pyrkiä turvaamaan yksilön oikeus voida vaikuttaa elinympäristöönsä vaikuttavaan päätöksentekoon (Suomen perustuslaki 731/1999, 1999; Toivonen et al., 1988).

Säteilyturvallisuudesta säädetään Suomessa säteilylaissa 592/1991 ja säteilyasetuksessa 1512/1991. Säteilylakia on muutettu sen voimaantulon jälkeen tämän työn kirjoitushetken mennessä 23 kertaa, joista viimeisin loppuvuodesta 2018 tämän työn kirjoittamisen aikana. Uudessa säteilylainsäädännössä on pantu täytäntöön EU:n vuonna 2013 uudistaman säteilyturvallisuusdirektiivin asettamat vaatimukset. Säteilylainsäädännön uudistus koski säteilylain lisäksi myös asetuksia. Lisäksi voimaan astui yksi uusi valtioneuvoston asetus, kaksi Sosiaali- ja terveysministeriön asetusta sekä kolmetoista STUK:n asettamaa määräystä (STUK, 2019b). STUK:n määräykset on jaettu kolmeen sarjaan sen perusteella, mihin ydinlainsäädännön lakeihin ne liittyvät. STUK:n määräykset on esitelty taulukossa 1.



**Taulukko 1.** STUK:n määräykset (STUK 2019a mukaillen)

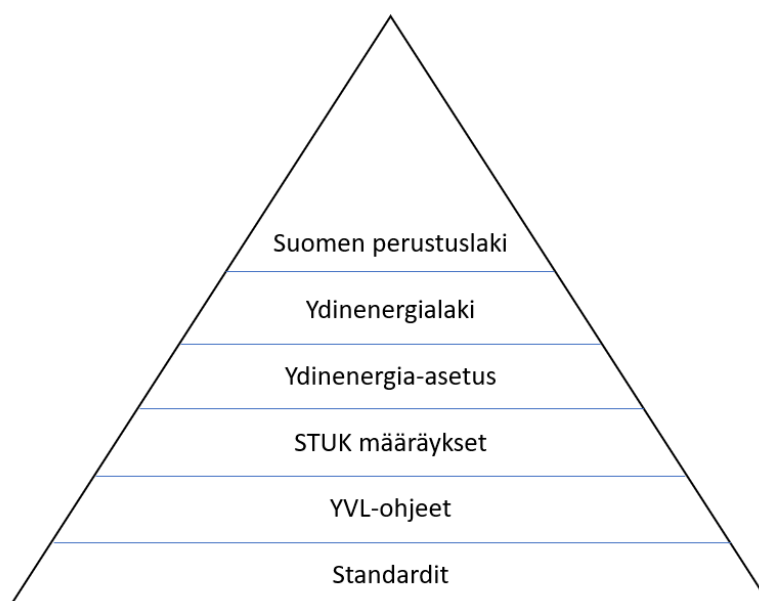
<b>Ydinenergilain nojalla annetut määräykset (Y-sarja)</b>	
Y/1/2018	Säteilyturvakeskuksen määräys ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta
Y/2/2018	Säteilyturvakeskuksen määräys ydinvoimalaitoksen valmiusjärjestelyistä
Y/3/2018	Säteilyturvakeskuksen määräys ydinenergian käytön turvajärjestelyistä
Y/4/2018	Säteilyturvakeskuksen määräys ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuudesta
Y/5/2018	Säteilyturvakeskuksen määräys uraanin ja toriumin tuottamiseksi harjoitettavan kaivostoiminnan ja malminrikastustoiminnan turvallisuudesta
<b>Säteilylain ja ydinenergilain nojalla annetut määräykset (SY-sarja)</b>	
SY/1/2018	Säteilyturvakeskuksen määräys vapaarajoista ja vapauttamisrajoista
<b>Säteilylain nojalla annetut määräykset (S-sarja)</b>	
S/1/2018	Säteilyturvakeskuksen määräys työperäisen altistuksen selvittämisestä, arvioinnista ja seurannasta
S/2/2018	Säteilyturvakeskuksen määräys suunnitelmasta säteilyturvallisuuspoikkeamien varalle sekä toimista säteilyturvallisuuspoikkeamien aikana ja niiden jälkeen
S/3/2018	Säteilyturvakeskuksen määräys turvallisuuslupaa edellyttävien säteilylähteiden turvajärjestelyistä
S/4/2018	Säteilyturvakeskuksen määräys suuritehoisten laserlaitteiden käytöstä
S/5/2018	Säteilyturvakeskuksen määräys ionisoimattoman säteilyn käytöstä kosmeettisessa tai siihen verrattavassa toimenpiteessä
S/6/2018	Säteilyturvakeskuksen määräys säteilymittauksista
S/1/2019	Säteilyturvakeskuksen määräys korkea-aktiivisen umpilähteen aktiivisuuden arvoista

Ydinenergian käytöstä säädetään ydinenergalaisissa 990/1987. Ydinenergilain määräykset koskevat ennen kaikkea ydinenergian käyttöä ja siihen liittyviä yleisiä periaatteita, ydinjätehuollon toteuttamista, ydinenergian käytön luvanvaraisuutta sekä lain noudattamista valvovia viranomaisia. Ydinenergalakia on muutettu viimeksi vuonna 2017. Ydinenergia-asetus 161/1988 on ydinenergilain nojalla annettu asetus, joka antaa tarkennuksia määrittelyihin ja menettelyihin. Ydinenergia-asetusta on muutettu valtioneuvoston asetuksilla useaan otteeseen vuosina 2013, 2015 ja 2017 (Hallituksen esitys 28/2018, 2018; Ydinenergalaki 990/1987, 1987).

Ydinvoimaan liittyvistä vastuista säädetään Suomessa ydinvastuulaissa 484/1972, jonka mukaan ydinlaitoksen luvanhaltijalla tulee olla ydinvastuuvakuutus. Ydinvastuulain

mukaan Suomessa sijaitsevan ydinlaitoksen luvanhaltijalla on rajoittamaton vastuu Suomessa sivullisille aiheutuneesta vahingosta. Muualla kuin Suomessa aiheutuneita vahinkoja varten luvanhaltijalla on oltava ydinvastuuvakuutus, jonka vastuun enimmäismäärä on noin 700 miljoonaa euroa (Työ- ja Elinkeinoministeriö, 2019b; Ydinvastuulaki 484/1972, 1972).

Kuvassa 3 on esitetty edellä esitellyn suomalaisen ydinturvallisuussäännösten hierarkia. Säännösten hierarkiassa korkeimpana tasona on Suomen perustuslaki, sen alapuolella ovat ydinlainsäädäntö ja ydinenergia-asetus, STUK:n määräykset, YVL-ohjeet sekä standardit. YVL-ohjeet on esitelty laajemmin kappaleessa 2.1.3.



**Kuva 3.** Säännösten hierarkia (STUK 2013 ja STUK 2004 mukaillen).

Ydinlaitoshankkeissa noudatettavat standardit, koodit ja direktiivit määritellään yleensä luvanhaltijan ja laitos- tai järjestelmätöimittajan välisissä sopimuksissa. Osapuolien välisestä sopimuksesta huolimatta alalla pätevät normaalit yleiset tehdasstandardit ja direktiivit. Kuvassa 4 on esimerkinomaisesti esitelty Suomessa ydinvoima-alalla noudatettavia standardeja, koodeja ja direktiivejä. Kuvassa 4 mainitut turvallisuusluokittelut (TL1-3 ja EYT) on esitelty tarkemmin kappaleessa 2.1.7.

Turvallisuus- luokitus	Mekaaniset komponentit	Informaatio- teknologia	Sähkötekniikka	Rakentaminen	Laatu	Ympäristö ja työterveys
TL1	ASME momentti NB RCC-M KTA Konedirektiivi	-	-	-	ISO 9000 ISO 9001 ISO 9004 ISO 9011 ISO 1005 ASME-NQA-1 IAEA GS-R-3	OHSAS 18001 ISO 14001
TL2	ASME momentti NB RCC-M KTA Konedirektiivi	IEC-standardit IEEE-ydinvoimaan sovellettavat standardit	IEC-standardit IEEE-ydinvoimaan sovellettavat standardit SFS 6000/1/2	Eurokoodi 2 & 3		
TL3	ASME momentti NB SFS-EN 13480 SFS-EN 13445 Konedirektiivi	IEC 62138 NUREG-0711	IEC-standardit IEEE-ydinvoimaan sovellettavat standardit SFS 6000/1/2	Eurokoodi 2 & 3 Rakennusmää- räys -kokoelma		
EYT	SFS-EN 13480 SFS-EN 13445 Painelaitedirek- tiivi Konedirektiivi	IEC 61508	SFS 6000/1/2	Eurokoodi 2 & 3 Rakennusmää- räys -kokoelma	ISO 9000 ISO 9001 ISO 9004 ISO 9011 ISO 1005	

**Kuva 4.** Suomessa ydinvoima-alalla noudatettavia standardeja (FinNuclear 2018 mukailten).

### 2.1.3 YVL-ohjeet

Ydinturvallisuusohjeet eli YVL-ohjeet ovat ydinenergiain STUK:lta edellyttämiä ohjeita, jotka säättävät ydinenergian käyttöön liittyviä yksityiskohtaisia turvallisuusvaatimuksia (Ydinenergiainlaki 990/1987, 1987). Luvanhaltija on velvoitettu noudattamaan kaikkia YVL-ohjeissa annettuja vaatimuksia, ellei luvanhaltija pysty esittämään STUK:lle jotain muuta hyväksyttyä menettelytapaa turvallisuusvaatimusten täyttämiseksi (Saikkonen, 2013). YVL-ohjeissa annettuja vaatimuksia sovelletaan soveltuvin osin myös laitostoimittajiin, ydinpolttoaineen valmistajaan, turvallisuuden kannalta tärkeisiin suunnittelu- ja asiantuntijaorganisaatioihin, testaus- ja tarkastuslaitoksiin, laite- ja materiaalivalmistajiin sekä muihin turvallisuuden kannalta tärkeisiin toimittajiin (FinNuclear Ry, 2018).

YVL-ohjeiden historia ulottuu 1960-luvulle, jolloin silloinen Säteilyfysiikanlaitos (SFL) aloitti valmistautumisen ydinvoiman valvontaan tekemällä ympäristötutkimuksia Loviisan ydinvoimalaitosta varten. Suomesta myös puuttui tuolloin ydinvoiman valvontaan liittyvien turvallisuusvaatimusten kehitystyö, jonka vuoksi SFL aloitti niin sanottujen SFL-ohjeiden valmistelun. SFL-ohjeita alettiin myöhemmin kutsua YVL-ohjeiksi (Sandberg, 2004).

YVL-ohjeet perustuvat ydinenergiain lisäksi ydinenergiasetukseen, IAEA:n julkaise-  
miin IAEA Safety Standards: Safety Fundamentals, Safety Requirements ja Safety Guides -ohjeisiin sekä WENRA:n laatimiin vaatimuksiin ja turvallisuustavoitteisiin. YVL-ohjeissa on myös huomioitu Olkiluoto 3 rakentamisen aikaiset kokemukset sekä Fukushima ydinvoimalaonnettomuuden opetukset (STUK, 2014).

YVL-ohjeet on jaettu viiteen ryhmään seuraavasti:

- Ryhmä A: Ydinlaitoksen turvallisuuden hallinta
- Ryhmä B: Ydinlaitoksen ja sen järjestelmien suunnittelu
- Ryhmä C: Ydinlaitoksen ja ympäristön säteilyturvallisuus
- Ryhmä D: Ydinmateriaalit ja -jätteet
- Ryhmä E: Ydinlaitoksen rakenteet ja laitteet

STUK on päivittämässä YVL-ohjeita vuoden 2018 aikana vastaamaan vuonna 2017 tehtyjä muutoksia ydinennergialakiin ja -asetuksiin. Uusien ohjeiden julkaiseminen ei sinällään muuta STUK:n aikaisempia päätöksiä, vaan vasta asianosaisten antamien lausuntojen jälkeen STUK tekee päätöksen siitä, miten uusia ohjeita sovelletaan käytössä oleviin, rakenteilla oleviin ydinlaitoksiin tai luvanhaltijoiden toimintoihin (STUK, 2018). Tätä työtä kirjoitettaessa STUK on julkaissut uuden version ohjeista A.2, A.3, A.5, A.7-10, B.4, C.3-4, C.6, E.1, E.5, E.7 ja E.12.

Uudet ja päivitetty YVL-ohjeet koskevat sellaisenaan vain uusia laitoksia. Käyvien ja rakenteilla olevien laitosten osalta laitoksen luvanhaltijan on tehtävä arviointi uudistettujen ohjeiden vaatimusten täyttymisestä, tunnistaa uusiin ohjeisiin liittyvät mahdolliset poikkeamat sekä niiden oikeutukseen tarvittavat toimenpiteet. STUK antaa luvanhaltijan tekemän arvion perusteella laitoskohtaisen täytäntöönpanopäätöksen (STUK, 2013).

#### **2.1.4 Keskeisimmät turvallisuusperiaatteet**

ALARA (As Low As Reasonably Achievable), eli säteilysuojelun optimointiperiaate, on yksi yleinen ydinlaitoksia koskeva turvallisuusperiaate. Sen mukaan yksilöiden saamat säteilyannokset ja radioaktiivisten aineiden päästöt tulee pitää niin alhaisella tasolla kuin mahdollista (Sandberg, 2004). Ydinlaitosten suunnittelussa käytetään yleisesti SAHARA (Safety As High As Reasonably Achievable) -periaatetta. SAHARA-periaatteen mukaan ydinlaitoksen turvallisuus tulee saattaa niin korkealle tasolle kuin käytännöllisesti on mahdollista (Sandberg, 2004).

Ydinlaitosten turvallisuussuunnittelu perustuu syvyysuuntaiseen puolustusperiaatteen ja moninkertaisiin vapautumisesteisiin. Syvyysuuntaisen puolustusperiaatteen mukaan turvallisuus varmistetaan peräkkäisillä toiminnallisilla ja rakenteellisilla tasoilla. Ensimmäisen tason, eli ennaltaehkäisevän tason tehtävä on ehkäistä normaalista käyttötilasta poikkeavien tapahtumien synty korkealaatuisen suunnittelun ja käyttötoiminnan avulla. Toisen tason, eli suojaavan tason tehtävä on havaita poikkeavien tapahtumien synty sekä estää niiden kehittyminen vakaviksi onnettomuuksiksi. Toisen tason järjestelmien avulla varmistetaan erityisesti turvallisuustoimintojen toteutuminen: reaktiivisuuden hallinta, jälkilämmön poisto ja radioaktiivisten aineiden hallinta. Kolmannen, eli seurauksia lieventävän tason tehtävä on lieventää poikkeamista aiheutuvia seurauksia, jos ensimmäinen ja toinen taso on jostain syystä läpäisty. Moninkertaisilla va-

pautumisesteillä tarkoitetaan moninkertaisten rakenteellisten esteiden järjestämistä radioaktiivisten aineiden ja ympäristön välille. (YVL B.1, 2013).

Ydinlaitoksilla käytettävä ydinmateriaali tulee suojata lainvastaiselta toiminnalta, sabotaasilta ja ilkivallalta. Ydinenergian käyttö ei myöskään saa edistää ydinaseiden leviämistä. Lisäksi ydinlaitoksen luvanhaltijalla on sekä taloudellinen että toiminnallinen vastuu ydinlaitoksella syntyvästä ydinjätteestä ja ydinjätehuollosta (Sandberg, 2004).

Turvallisuuskulttuurin olemassaoloa vaaditaan sekä ydinlaitoksen suunnittelu- että käyttöorganisaatioilta. Turvallisuuskulttuuri on käsitelty tarkemmin kappaleessa 2.1.5. Suomen hyväksymä kansainvälinen ydinturvallisuussopimus edellyttää ydinlaitosten luvanvaraisuutta sekä niiden valvontaa riippumattoman ja itsenäisen viranomaisorganisaation toimesta. Suomessa valvontaa hoitaa STUK (Sandberg, 2004).

## 2.1.5 Turvallisuuskulttuuri

Turvallisuuskriittisiä organisaatioita ovat sellaiset organisaatiot, jotka normaalissa toiminnassaan ovat tekemisissä sellaisten vaarojen kanssa, jotka huonosti hallittuina voivat aiheuttaa vaaraa joko ihmisille tai ympäristöille. Tällaisiin organisaatioihin kuuluu esimerkiksi ydinlaitokset, lentoyhtiöt ja varustamot. Turvallisuuskriittisissä organisaatioissa on tärkeää jatkuvasti arvioida ja kehittää organisaation toimintaa mahdollisten onnettomuuksien, virheiden ja vahinkojen välttämiseksi. Lisäksi näille organisaatioille on tärkeää säilyttää yhteiskunnan luottamus oman toiminnan jatkuvuuden säilyttämiseksi. Turvallisuuskriittisissä organisaatioissa käytetään alun perin ydinvoimateollisuuden parissa syntynyttä käsitettä turvallisuuskulttuuri. Turvallisuuskulttuuri-käsitettä on ensimmäisen kerran käytetty Tšernobylin onnettomuuden jälkeisen tutkimuksen yhteydessä. Käsitteellä havainnollistettiin sitä, ettei onnettomuuksien syy yleensä johdu pelkästään teknisistä vioista tai yksilöiden tekemistä inhimillisistä virheistä (Reiman & Oedewald, 2008; Reiman et al., 2008).

Turvallisuuskulttuuria tulisi Reiman ja Oedewald (2008) mukaan tarkastella turvallisuuden liittyvänä osana organisaatiokulttuuria. Turvallisuuskulttuurikäsitteen avulla organisaatiossa voidaan korostaa turvallisuutta organisaation tavoitteena ja siten nostaa esille turvallisuustavoitteiden saavuttamisen edellytyksiä ja esteitä organisaatiossa. IAEA:n (2002) raportissa yhden määritelmän mukaan turvallisuuskulttuuri koostuu niistä organisaation - ja siihen kuuluvien yksilöiden - toimintatapojen ja asenteiden kokonaisuudesta, jotka asettavat ydinturvallisuusasioiden huomioimisen korkeimmalle prioriteetille. Reiman ja Oedewald (2008) mukaan turvallisuuskulttuurissa on ennen kaikkea kyse siitä, että organisaation jäsenillä on tarvittavat edellytykset suoriutua työstään, turvallisuutta pidetään organisaatiossa oikeasti tärkeänä arvona, organisaatio ymmärtää turvallisuuden merkityksen riittävän laajasti ja että organisaation toimintaan liittyvistä vaaroista ollaan tietoisia. Tärkeää on myös ymmärtää turvallisen perustyön merkitys turvallisuuden osalta sekä työntekijälle että tekemisen kohteelle (Reiman & Oedewald, 2008).

Valtioneuvoston asetuksen (717/2013) 28 § mukaisesti ydinlaitoksella on ylläpidettävä hyvää turvallisuuskulttuuria. Hyvä turvallisuuskulttuuri koskee ydinlaitoksen kaikkia toimintoja ja koko ydinlaitoksen elinkaarta aina laitoksen suunnittelusta laitoksen käytöstä poistoon saakka. Ydinturvallisuus on asetettava etusijalle kaikessa ydinlaitokseen liittyvässä toiminnassa. Turvallisuuskulttuurin ylläpitäminen ulottuu läpi luvanhaltijan organisaation ja vaatii organisaation johdolta vahvaa sitoutumista. Luvanhaltijan organisaation henkilökunnan tulee saada tukea turvallisesti toimimiseen organisaation rakenteesta, menettelytavoista ja johtamisjärjestelmästä. Ydinlaitoksen luvanhaltijalla on velvollisuus perehdyttää kaikki ydinlaitoksella toimivat sidosryhmät turvallisuuskulttuuriin sekä valvoa sen noudattamista ja kehittymistä (Sandberg, 2004).

### **2.1.6 Ydinlaitosten lupamenettelyt**

Ydinlaitoksen rakentaminen Suomessa on luvanvaraista toimintaa. Ydinlaitoksen lupamenettelyn elinkaareen kuuluu viidestä kuuteen porrasta, jotka on esitelty kuvassa 5. Lain ydinenergialain muutoksesta (905/2017) mukaan luvanhaltijan on ennen periaatepäätöksen hakemista laadittava ja julkaistava selvitys Työ- ja Elinkeinoministeriön (TEM) ohjeiden mukaisesti. Selvityksen tulee sisältää yleiskuvaus laitoksesta, sen ympäristövaikutuksista ja turvallisuudesta (Laki ydinenergialain muuttamisesta 905/2017, 2017).

Ympäristövaikutusten arvioinnista käytetään termiä YVA-menettely, josta säädetään laissa 252/2017 ”Laki ympäristövaikutusten arviointimenettely”. Lakia voidaan soveltaa kaikkiin hankkeisiin, joilla saattaa olla sekä välillisiä tai välittömiä ympäristövaikutuksia Suomessa ja sen lähialueilla. Arviointimenettelyssä ymmärretään ympäristö laajana käsitteenä sisältäen myös sosioekonomiset- että terveysvaikutukset. Oleellista arviointimenettelyssä on verrata hankkeen vaikutuksia ympäristön nykytilaan. Ydinlaitokseen liittyvissä YVA-menettelyissä vastaava viranomainen Suomessa on TEM (Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 252/2017, 2017).



**Kuva 5.** Lupamenettelyt ydinlaitoksen elinkaaren aikana (Ydinenergialaki 990/1987, 1987).

Ydinenergialain (990/1987) mukaisia ydinlaitoksen rakentamiseen liittyviä lupia ovat periaatepäätös, rakentamislupa, käyttölupa ja käytöstäpoistolupa. Näistä esimerkiksi periaatepäätös ja rakentamislupa ovat määräaikaista, jotka raukeavat, jollei seuraavaa vaihetta saavuteta. Lupamenettelyssä on yleensä kaksi vaihetta, joista ensimmäisessä luvanhaltija toimittaa STUK:lle tarvittavat selvitykset sekä lupahakemuksen TEM:lle (Ydinenergialaki 990/1987, 1987).

Ydinlaitoksen tulee olla koko suomalaisen yhteiskunnan kokonaisedun mukainen, jotta valtioneuvosto voi antaa periaatepäätöksen laitoksen rakentamisesta. Periaatepäätöstä haetaan valtioneuvostolta hakemuksella, johon TEM pyytää ensin STUK:lta alustavan turvallisuusarvion, ympäristöministeriön lausunnon sekä luvan sijaintikunnan kunnanvaltuustolta ja sen naapurikunnilta. Valtioneuvoston päätöksen jälkeen eduskunta joko hyväksyy tai hylkää päätöksen (Ydinenergialaki 990/1987, 1987).

Rakentamisluvan tarkoituksena on varmistaa kaikki luvanhaltijan edellytykset rakentaa turvallinen ydinlaitos. Rakentamislupahakemuksen sisältö on määritelty Ydinenergia-asetuksessa. Ydinenergia-asetuksen pykälissä § 31–32 on esitetty TEM:lle toimitettava hakemuksen sisältö liitteineen ja § 35 STUK:lle toimitettavat luvitusasiakirjat (Ydinenergia-asetus 161/1988, 1988; Ydinenergialaki 990/1987, 1987).

Käyttöluvan tarkoituksena on varmistaa ydinlaitoksen turvallisen käytön edellytyksien toteutuminen. Myös käyttölupahakemuksen sisältö on määritelty Ydinenergia-asetuksessa pykälissä § 33–34 (TEM) ja § 36 (STUK). Ratkaisevaa käyttöluvan myöntämisessä on STUK:n antama turvallisuusarvio. Valtioneuvoston asetus ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta 717/2013 säätelee pykälässä § 3 turvallisuuden arvioinnista ja todentamisesta. Asetuksen mukaan ydinlaitoksen turvallisuutta tulee arvioida niin rakentamisluvan kuin käyttöluvankin yhteydessä sekä lisäksi myös käytön aikaisissa turvallisuusarvioissa. Turvallisuusarvioiden yhteydessä luvanhaltijan on osoitettava, että ydinlaitos on rakennettu ja toteutettu vaadittuja turvallisuusvaatimuksia noudattaen. Käyttö-

lupaan saattaa liittyä myös ehtoja, kuten esimerkiksi valitusoikeus. Sekä rakentamis-, käyttö- ja käyttöluvan uusimisessa lupaviranomainen on TEM, mutta luvan myöntää valtioneuvosto (Ydinenergia-asetus 161/1988, 1988; Ydinenergialaki 990/1987, 1987).

### 2.1.7 Järjestelmien turvallisuusluokitukset

Ydinturvallisuuden päätavoite on radioaktiivisten aineiden leviämisen estäminen kaikissa laitoksen käyttö-, häiriö ja onnettomuustilanteissa. Ydinturvallisuuden varmistamiseksi ydinlaitoksen järjestelmien tulee varmistaa kolmen ydinturvallisuustoiminnon toteutuminen: radioaktiivisten aineiden leviämisen estäminen, jälkilämmön poistaminen ja reaktiivisuuden hallitseminen (Sandberg, 2004).

Valtioneuvoston asetuksen 717/2013 mukaan ydinlaitoksen turvallisuustoiminnot on määriteltävä, sekä niitä toteuttavat järjestelmät, laitteet ja rakenteet on luokiteltava niiden turvallisuusmerkityksen mukaan. Turvallisuusluokitusta on lisäksi käytettävä järjestelmien, laitteiden ja rakenteiden laatuvaatimuksia määritettäessä. STUK:n laatiman YVL B.2 (2013) ohjeen mukaan ydinlaitoksen turvallisuustoiminnot on niiden hallintaa varten jaettava rakenteellisiksi ja toiminnallisiksi kokonaisuuksiksi eli järjestelmiksi. Jako tulee tehdä niin, että jokainen turvallisuustoimintoihin liittyvä rakenteet ja laitteet kuuluvat johonkin järjestelmään. Luokituksen on perustuttava deterministisiin menetelmiin, joita voidaan tarvittaessa täydentää todennäköisyysperusteisen riskianalyysin ja asiantuntija-arvioiden avulla (YVL B.2, 2013; Valtioneuvosto, 2013).

Ydinlaitoksissa käytettävät turvallisuusluokat ovat 1, 2, 3 ja EYT (Ei Ydinteknisesti Turvallisuusluokiteltu). Lisäksi järjestelmät, laitteet ja rakenteet luokitellaan maanjäristysluokkiin S1, S2A ja S2B. Turvallisuusluokista luokan yksi vaatimustaso on korkein ja maanjäristysluokista S1. Lisäksi osa turvallisuudelle tärkeimmistä EYT-luokitelluista järjestelmistä voidaan luokitella edelleen EYT/STUK -luokkaan. EYT/STUK jatko-luokitus tarkoittaa sellaisia järjestelmiä, joilla on jokin epäsuora yhteys säteily- ja ydinturvallisuuden toteutumiselle (YVL B.2, 2013).

Laitteet ja rakenteet kuuluvat lähtökohtaisesti samaan luokkaan kuin se järjestelmä, johon ne kuuluvat. Laitteen tai rakenteen luokitus voi myös olla matalampi, kuin järjestelmä, jonka osia ne ovat. On myös mahdollista, että laitteen tai rakenteen luokitus on korkeampi kuin järjestelmän, jos järjestelmä liittyy kyseisen laitteen tai rakenteen avulla johonkin toiseen ylemmän tason järjestelmään (YVL B.2, 2013).

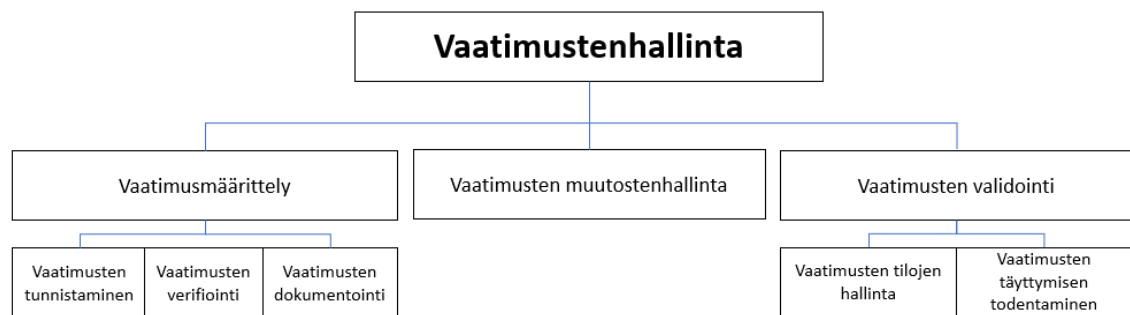
Ydinlaitoksen laitteiden turvallisuusluokitus tulee perustua turvallisuustoimintojen toteuttamiseksi, radioaktiivisten aineiden leviämisen estämiseksi sekä säteilyturvallisuuden varmistamiseksi kyseisen laitteen osalta. Laitteen turvallisuusluokka määräytyy vaativimman perusteen mukaan (YVL B.2, 2013).



Järjestelmien luokittelu tehdään luokkiin 2, 3 ja EYT sen mukaan, mikä on niiden alkutapahtumien merkitys turvallisuustoimintojen luotettavuudelle. Laitteet ja rakenteet luokitellaan luokkiin 1, 2, 3 ja EYT sen mukaan, mikä on niiden rooli radioaktiivisten aineiden leviämisessä ja turvallisuustoimintojen toteutumisessa. Jos järjestelmä, laite tai rakenne on kahden luokituksen rajalla, tulee se luokitella ylempään turvallisuusluokkaan. Järjestelmän turvallisuusluokitus vaikuttaa olennaisesti siihen kohdistuviin vaatimuksiin (YVL B.2, 2013).

## 2.2 Vaatimustenhallinta

Vaatimustenhallinnan käsitteistö vaihtelee kirjallisuudessa kirjoittajasta riippuen. Kotonya & Sommerville (1997) ja Wiegers (2003) käyttävät yläkäsitteenä vaatimusmäärittelyä (engl. requirement engineering), kun taas esimerkiksi Leffingwell & Widrig (1999) ja Renlund & Taskinen (2004) käyttävät yläkäsitteenä vaatimustenhallintaa (engl. requirement management). Tässä työssä käytetään selvyuden vuoksi yläkäsitteenä vaatimustenhallintaa, käsitteistö on esitelty kuvassa 6.

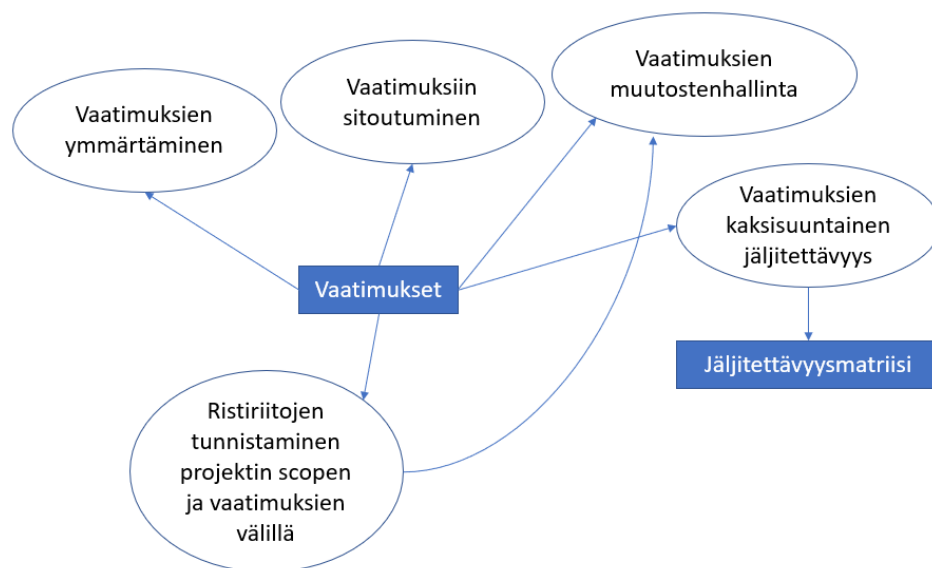


**Kuva 6.** *Vaatimustenhallinta ja käsitteistö (Leffingwell & Widrig 1999 mukaillen).*

Vaatimustenhallinta tarkoittaa sidosryhmien odotusten, asiakkaiden sekä teknisten tuotevaatimusten hallintaa aina alimpiin komponenttitason vaatimuksiin asti. Vaatimustenhallinnan tarkoituksena on tarjota kaksisuuntaista jäljitettävyyttä jokaiselle järjestelmään liittyvälle vaatimukselle (NASA, 2016). Leffingwell & Widrig (1999) määrittävät vaatimustenhallinnan systemaattiseksi tavaksi kerätä, organisoida ja dokumentoida vaatimuksia sekä prosessiksi, joka määrittelee ja ylläpitää organisaation ja asiakkaan välistä tapaa hallita muuttuvia vaatimuksia. Starkin (2007) mukaan vaatimustenhallinnan tarkoituksena on kerätä ja hallita tuotteeseen liittyvät tekniset, toiminnalliset, prosessiperäiset ja käyttäjäperäiset vaatimukset. Zaven ja Jacksonin (1997) mukaan vaatimusten tulisi määritellä mitä järjestelmä tekee, eikä sitä, miten järjestelmä sen tekee. Toisin sanoen, vaatimusten avulla tulisi kertoa se mikä on havaittavissa järjestelmän ja sen ympäristön välisessä rajapinnassa. Paakki (2011) yhtyy Zaven ja Jacksonin näkemykseen ja toteaa, että vaatimukset tulisi pikemminkin esitellä sopivalla tarkkuus- ja abstraktiotasolla, kuin tehdä pitkä ja liian yksityiskohtainen lista vaatimuksista.

Vaatimusten täyttyminen tai täyttymättä jääminen määrittelee usein sen, onko projekti onnistunut vai epäonnistunut. Johtopäätöksen mahdollistamiseksi on tärkeää selvittää tuotteeseen kohdistuvat vaatimukset, dokumentoida ne ja ennen kaikkea rekisteröidä niihin liittyvät muutokset. Vaatimusten dokumentoiminen on erityisen tärkeää siksi, että tuotteeseen voi liittyä satoja tai jopa tuhansia vaatimuksia, jotka ilman dokumentointia saattaisivat helposti unohtua. Unohtuneet vaatimukset jäävät toteuttamatta ja siten voivat johtaa projektin epäonnistumiseen (Leffingwell & Widrig, 1999).

Lopez (2011) mukaan vaatimustenhallinta sisältää seuraavat aktiviteetit: vaatimusten ymmärtäminen, vaatimuksiin sitoutuminen, vaatimusten muutostenhallinta, vaatimusten kaksisuuntainen jäljitettävyyden hallinta sekä projektin sisällön linjaaminen yhdessä vaatimusten kanssa. Näitä aktiviteetteja hyödyntämällä projektin toteutukselle luodaan kriteerit, tunnistetaan vaatimusten lähteet, luodaan kriteerit vaatimusten hyväksynnälle ja arvioinnille sekä luodaan prosessi vaatimusten ja kriteerien täyttymiselle. Lopezin näkemystä on havainnollistettu kuvassa 7. Sommerville & Sawyer (1997) mukaan vaatimustenhallinnan kolme päätehtävää ovat sovittujen vaatimusten muutostenhallinta, vaatimusten välisten suhteiden hallinta sekä vaatimusdokumentin ja muun dokumentaation välisten riippuvuuksien hallinta.

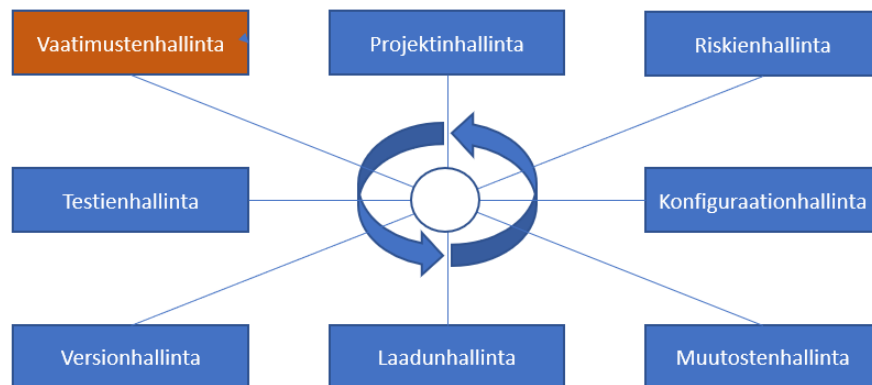


**Kuva 7.** Vaatimustenhallinta (Lopez 2011 mukaillen)

Vaatimustenhallintaa voidaan yleisesti pitää osana järjestelmäsuunnittelua. Hood et al. (2008) mukaan vaatimustenhallinta yhdistää vaatimusmäärittelyn järjestelmäsuunnittelun (engl. systems engineering) muiden tiedonalojen kanssa ja toimii niiden välisenä rajapintana. Siksi vaatimustenhallintaa on hankala mieltää yhdeksi prosessiksi. Vaatimustenhallinta on pikemminkin kokoelma aktiviteetteja, jotka yhdistävät eri järjestelmäsuunnittelun tiedonalojen olennaisen informaation ja joiden kaikkien yhteisenä rajapintana toimii vaatimusmäärittely. Vaatimustenhallinnan tehtävänä on pitää vaatimuksiin

liittyvä informaatio ajan tasalla ja kaikkien relevanttien osapuolien saatavilla (Hood et al., 2008).

Hood et al. (2008) on tunnistanut kuvassa 8 esitetyt, tärkeimmät järjestelmäsuunnittelun tiedonalat, joilla on selkeä rajapinta vaatimusmäärittelyn kanssa. On hyvin tärkeää pitää esitettyjä tiedonaloja vuorovaikutuksessa vaatimustenhallinnan kanssa vaatimusten eheyden varmistamiseksi. Sama pätee myös toisinpäin, sillä myös muut tiedonalat tarvitsevat tietoa vaatimuksia koskien vaatimustenhallinnasta. (Hood et al., 2008, s.190-195).

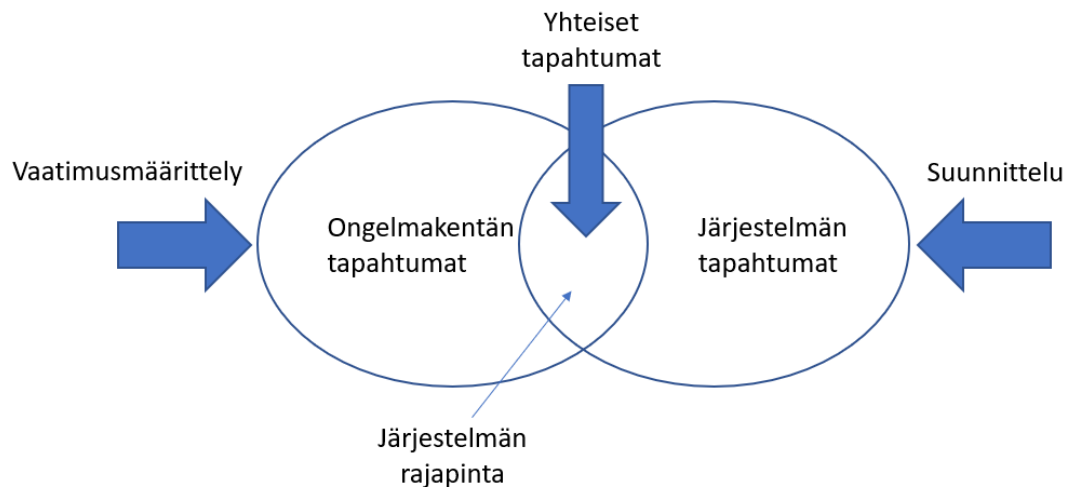


**Kuva 8.** *Vaatimustenhallinta osana järjestelmäsuunnittelua (Hood et al. 2008 mukailleen).*

Yksi tärkeimmistä rajapinnoista on vaatimustenhallinnan ja konfiguraationhallinnan välinen rajapinta. Konfiguraatio koostuu tarpeellisesta määrästä konfiguraatioyksiköitä, joilla kullakin on oma versiohistoriansa. Konfiguraatioyksikkö voi olla pieni tai suuri, riippuen hallittavasta kokonaisuudesta. Konfiguraatiolle määritellään lähtötilanne (engl. baseline), johon konfiguraation muutoksia voidaan verrata. Konfiguraationhallinta ja vaatimustenhallinta nivoutuvat yhteen vaatimusten kautta. Konfiguraation tarkoituksena on varmistaa, että kaikki järjestelmälle asetetut vaatimukset toteutuvat, kaikki muutokset ovat hallinnassa ja että kaikki järjestelmään liittyvät tiedot ovat ajan tasalla. Vaatimustenhallinnan kannalta katsottuna vaatimusdokumentteja ja spesifikaatioita voidaan pitää konfiguraatioina. Vaatimukset ja spesifikaatiot voivat myös muuttua tiuhaan, jolloin niitä voidaan hallita konfiguraatioiden. Järjestelmiä kehitettäessä on usein tarpeen päästä käsiksi vaatimusten ja vaatimusmäärittelyiden aikaisempiin versioihin ja etenkin päästä vertaamaan niitä baselineen. Konfiguraationhallinnan kautta konfiguraatioiden aiemmat versiot pysyvät tallessa ja niihin voidaan projektin aikana tarpeen tullen palata (Hood et al., 2008).

Paakki (2011) kuvaa järjestelmän ympäristöä ongelmakentäksi (engl. problem domain). Ongelmakentällä tarkoitetaan teknistä, fyysistä tai organisaatioympäristöä, jossa järjestelmällä ratkaistava ongelma esiintyy. Ongelmakentän ja järjestelmän välinen rajapinta kattaa tapahtumat, jotka ovat molemmille yhteisiä eli siis ratkaistavan ongelman. Tätä rajapintaa on havainnollistettu kuvassa 9. Ennen ongelman ratkaisemista on ymmärret-

tävä ja määriteltävä mistä ongelmassa tarkalleen ottaen on kysymys. Ymmärrys voidaan saavuttaa kysymällä kolme kysymystä: Mikä on ratkaistava ongelma? Miksi se pitää ratkaista? Kenen vastuulla sen ratkaiseminen on? (Paakki, 2011).

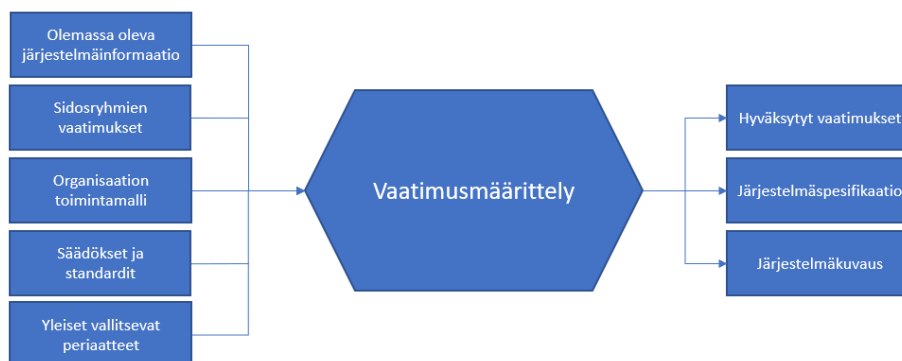


**Kuva 9.** Järjestelmän ja ympäristön välinen rajapinta (Paakki 2011 mukaillen).

### 2.2.1 Vaatusmäärittely

Vaatusmäärittelylle on kirjallisuudessa monta määritelmää. Hood et al. (2008) mukaan vaatusmäärittelyssä luodaan tai määritellään vaatimukset. Vaatusmäärittelyä voidaankin kutsua myös vaatimusten kehittämiseksi (engl. requirement development). Sommerville & Sawyer (1997) mukaan vaatusmäärittely käsittää kaikki ne aktiviteetit, jotka tarvitaan vaatimusten löytämiseen, dokumentointiin ja ylläpitoon. Paakki (2011) mukaan vaatusmäärittely vastaa kysymyksiin: *mitä* halutaan, *miksi* halutaan ja *kuka* ottaa vastuun. Paakki (2011) jatkaa, että vaatusmäärittelyssä käsitellään ongelmakentän ominaisuuksia ja järjestelmän vaikutuksia ongelmakenttään, kuten kuvassa 7 on esitetty.

Kotonya & Sommerville (1997) kuvaa vaatusmäärittelyä yleisellä tasolla prosessina, joka muuttaa eri lähteistä saadun informaation hyväksytyyn ja jäsennehtyyn muotoon. Kotonyan & Sommervillen prosessimalli on esitetty kuvassa 10. Vaatusmäärittelyprosessin syötteitä on esimerkiksi järjestelmästä liittyvä olemassa oleva informaatio. Olemassa olevalla informaatiolla tarkoitetaan esimerkiksi järjestelmän rajapinnoille liittyvien järjestelmien asettamia vaatimuksia, kuten esimerkiksi järjestelmälle varattua fyysistä tilavarausta. Yleiset periaatteet tarkoittavat laitetyypille tyypillisiä asioita. Lisäksi vaatusmäärittelyprosessiin voidaan syöttää esimerkiksi sidosryhmien, viranomaisten ja organisaation itsensä asettamia vaatimuksia. Vaatusmäärittelyprosessissa kaikki sisään saatu informaatio prosessoidaan ja jäsennehtyyn hyväksytyyn muotoon. Prosessin tuloksena syntyy lista hyväksytyistä vaatimuksista ja vaatimusten perusteella luotu järjestelmäaineisto.



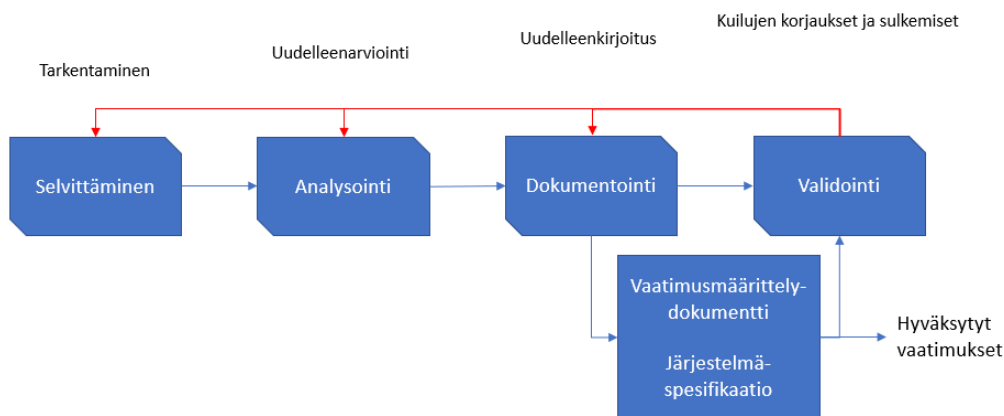
**Kuva 10.** *Vaatusmäärittelyn syötteet ja tulokset (Kotonya & Sommerville 1997 mukaillen).*

Vaatusmäärittelyn tulisi Sommerville & Sawyer (1997) mukaan sisältää ainakin alla listatut kolme aktiviteettia. Samankaltaista jaottelua käytetään kirjallisuudessa yleisesti, muun muassa Hoffmann & Lehner (2001).

- Vaatimusten selvittäminen (*Requirement elicitation*)
- Vaatimusten analysointi (*Requirement analysis*)
- Vaatimusten validointi (*Requirement validation*)

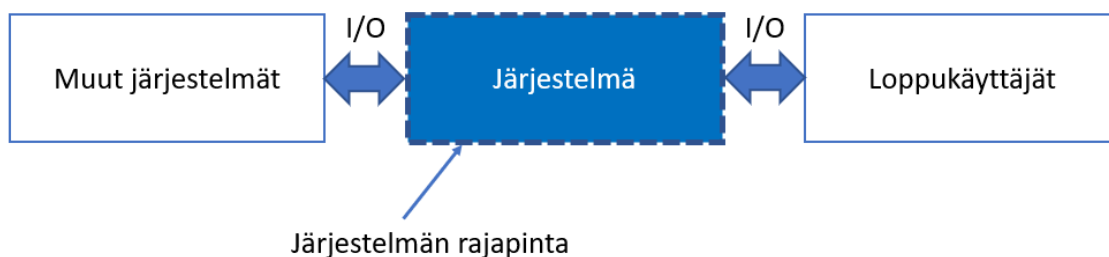
Hood et al. (2008) näkemys on jakaa vaatusmäärittely kahteen aliprosessiin: soveltamisalan määrittelyyn ja vaatimusten määrittelyyn. Ensimmäisessä aliprosessissa tunnistetaan ja määritetään rajapinnat, sekä tunnistetaan ja määritetään sidosryhmät ja niiden roolit. Toinen aliprosessi vastaa Sommerville & Sawyer (1997) näkemystä vaatusmäärittelyn vaiheista. Toisessa aliprosessissa otetaan selville, määritellään, analysoidaan, katselmoidaan ja validoidaan vaatimukset.

Vaatusmäärittely on kirjallisuudessa nähty yleisesti ottaen iteratiivisena ja limittyneenä prosessina (esimerkiksi Wiegers 2003 ja Kotonya & Sommerville 1997). Vaatusmäärittelyssä vaatimukset kehittyvät ja kumuloituvat analysoinnin sekä validoinnin tapahtuvien takaisinkytkentöjen kautta. Vaatusmäärittelyprosessin iteratiivisuutta on kuvattu kuvassa 11.



**Kuva 11.** *Vaatimusmäärittely iteratiivisena prosessina (Wiegers 2003 ja Kotonya & Sommerville 1997 mukaillen).*

Tärkeänä osana vaatimusten selvittämistä on löytää järjestelmän rajapinnat, jotka toimivat liityntöinä muille järjestelmille. Samaa rajapintaa koskettavat järjestelmät asettavat toisilleen vaatimuksia. Leffingwell & Widrig (1999) näkevät järjestelmän syöttötietojen ja lopputuloksen välissä olevana toimijana, joka muuttaa tietovirtaa (I/O, input/output). Tätä rajapintamallia on kuvattu kuvassa 12.



**Kuva 12.** *Järjestelmän rajapinnat (Leffingwell & Widrig 1999 mukaillen).*

Kosola (2013) toteaa sidosryhmien tunnistamisen olevan välttämätön edellytys vaatimustenhallinnan onnistumiselle. Siksi sidosryhmien tunnistaminen tulisi tehdä jo ennen vaatimusmäärittelyn aloittamista. Sommerville & Sawyer (1997) jatkaa, että jos kaikkia sidosryhmiä ei tunnisteta, on hyvin todennäköistä, että joitain tärkeitä vaatimuksia jää huomaamatta. Huomaamatta jääneiden vaatimusten huomioiminen myöhemmässä vaiheessa on usein työlästä ja kallista. Eri sidosryhmillä on tyypillisesti erilainen perspektiivi järjestelmään ja sitä kautta vaatimukset saattavat erota huomattavasti toisistaan. Lisäksi sidosryhmillä voi olla vaikeuksia artikuloida vaatimuksiaan (Leffingwell & Widrig, 1999).

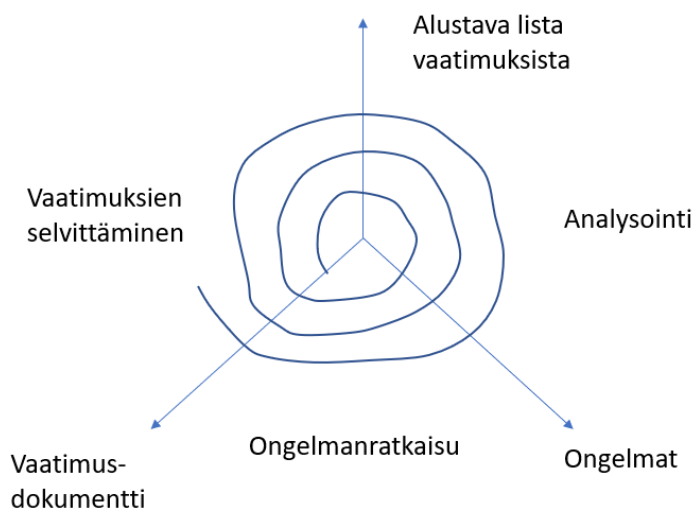
Sidosryhmät voidaan jakaa pääosin suoriin ja epäsuoriin sidosryhmiin sen mukaan, miten aktiivisesti sidosryhmä vaikuttaa järjestelmän vaatimuksiin. Sidosryhmien vaatimusten kanssa tehtävät kompromissit riippuvat Kosolan (2013) mukaan siitä, mihin luokkaan sidosryhmä kuuluu. Suorien sidosryhmien vaatimusten täyttäminen voi osoittautua välttämättömäksi järjestelmän onnistumisen kannalta. Epäsuorat sidosryhmät eivät ole suoraan tekemisissä järjestelmän kanssa, mutta järjestelmä voi esimerkiksi vaikuttaa

niiden työhön jollakin tavalla. Vaikka epäsuorat sidosryhmät eivät välttämättä suoraan vaikutakaan vaatimukseen, niiden myötämielinen suhtautuminen voi silti osoittautua edellytykseksi projektin tai järjestelmän onnistumiselle. (Kosola, 2013; Leffingwell & Widrig, 1999).

Vaatimusten selvittäminen tapahtuu usein järjestelmädokumenttien analysoinnilla ja sidosryhmien haastatteluilla (Hoffmann & Lehner, 2001). Sommerville & Sawyer (1997) mukaan vaatimusten selvittämisessä voidaan lisäksi hyödyntää kumuloitunutta tietoa ja markkinatutkimusta. Renlund et al. (2004) jatkaa, että vaatimusten selvittämiseen voidaan käyttää myös prototyyppejä. Lisäksi vaatimuksia voi tulla organisaation toimintamalleista ja prosesseista, viranomaissäädöksistä ja standardeista (kuva 6). Vaatimusten selvittämistä varten on hyvä kerätä mahdollisimman monipuolinen tiimi. Berryn (1995) omien kokemusten mukaan tietämättömyys aihepiiristä voi olla hyväksi vaatimuksia kerätessä. Argumentti perustuu huomioon siitä, että aihepiiriin vihkiytymätön ei voi tehdä hiljaiseen tietoon perustuvia oletuksia.

Vaatimusten analysointi tehdään vaatimukseen liittyvien ongelmien, konfliktien, päällekkäisyyksien ja epäolennaisuuksien löytämiseksi. Analysoinnin tavoitteena on saada aikaan koherentti vaatimuskokonaisuus (Sommerville & Sawyer, 1997). Wiegers (2003) lisää, että vaatimusten analysoinnissa vaatimukset kategorisoidaan, priorisoidaan, abstrakteista vaatimuksista johdetaan yksityiskohtaiset vaatimukset ja tarvittaessa vaatimukset allokoitetaan mahdollisille alijärjestelmille. Wiegers (2003) jatkaa, että vaatimuksia analysoidessa vaatimusten toteutettavuus tulee arvioida budjetin, suorituskyvyn ja riskien kautta.

Vaatimusten selvittäminen ja analysointi ovat limittäisiä aktiviteetteja, joita ei voi erottaa toisistaan. Jo vaatimusten tunnistusvaiheessa voi nousta esiin ongelmia, jotka on ratkaistava yhdessä vaatimusten lähteiden kanssa. Vaatimusmäärittely onkin iteratiivinen prosessi, johon osallistuu joukko sidosryhmiä, joiden vaatimukset voivat olla ristiriidassa keskenään. Iteratiivisuutta on kuvattu spiraalina kuvassa 13. Spiraali alkaa vaatimusten selvittämisestä, jonka perusteella syntyy alustava lista vaatimuksista. Alustava lista analysoidaan ja analysoinnin tulosten perusteella löydetty ongelmat tunnistetaan ja ratkaistaan. Spiraalia pyöritetään kunnes yhteinen ymmärrys vaatimuksista on löydetty (Sommerville & Sawyer, 1997).



**Kuva 13.** *Vaatimusten analysointi (Sommerville & Sawyer 1997 mukailten).*

Vaatimusten dokumentointi on hyvä tehdä johdonmukaisesti ja helposti tarkastettavaan muotoon. Vaatimusdokumentin rakenne on hyvä vakioda ja käyttää esimerkiksi valmiita pohjia erilaisille projekteille. Dokumentissa käytettävä kieli tulisi olla selkeää ja epämääräisiä ilmaisuja tulisi välttää. Lisäksi dokumentissa tulisi esittää vaatimusten lähteet tai viittaukset lähteisiin. Jokaiselle vaatimukselle on myös syytä antaa uniikki tunnus ja vaatimuksille tulee rakentaa struktuuri. Vaatimusdokumentista tulisi erottaa organisaatioiden toimintaa, prosesseja ja liiketoimintaa koskevat vaatimukset omaksi dokumentiksi. Tämän kaltaiset toiminnalliset vaatimukset ovat järjestelmätasoa ylempänä ja voivat koskea useaa järjestelmää yhtä aikaa (Wiegers, 2003).

Tärkeä osa vaatimusmäärittelyprosessia on kirjoitettujen vaatimusten validointi. Vaatimusten validoinnin tarkoituksena on varmistaa vaatimusten oikeellisuus ja vastaavuus alkuperäisiin vaatimuksiin nähden. Vaatimusten validoinnin tuloksena syntyy vaatimusdokumentti, josta on poistettu kaikki tunnetut ongelmat, epäoleellisuudet ja epäjohdonmukaisuudet. Jos validointivaiheessa löytyy uusia ongelmia, ne voidaan vielä korjata palauttamalla vaatimusdokumentti prosessin aikaisempiin vaiheisiin (kuva 7). Validoitu vaatimusdokumentti on valmis hyväksyttäväksi (Sommerville & Sawyer, 1997).

Kotonya & Sommerville (1997) kuvailee vaatimusten validointia prosessiksi, johon syötetään vaatimusdokumentti. Vaatimusdokumentin validointia varten prosessiin tarvitaan organisaation standardit sekä organisaatioon kumuloitunutta tietämystä organisaation vaatimuksiin liittyvistä laatustandardeista, terminologiasta ja toimintatavoista. Tätä prosessia on kuvattu kuvassa 14.





**Kuva 14.** *Vaatumusten validoinnin panokset ja tulokset (Kotonya & Sommerville 1997 mukaillen)*

Validointiprosessin tuloksena syntyy lista vaatimusdokumentissa havaituista ongelmista sekä lista tehtävistä, joilla havaitut ongelmat ratkaistaan ja kenen toimesta. Kotonya & Sommerville (1997) mukaan tyypillisiä ongelmia vaatimustenvalidointivaiheessa ovat:

- Puuttuva informaatio: vaatimuksen yhteydessä annetut tiedot eivät ole riittäviä
- Epärealistinen vaatimus: vaatimuksen sisältö on epärealistinen
- Konflikti: vaatimus on ristiriitainen johonkin toiseen vaatimukseen nähden
- Epäselvä vaatimus: vaatimus on kirjoitettu huonosti tai se ei ole yksiselitteinen.

Wiegiers (2003) lisää, että vaatimusdokumentista voi vielä validointivaiheessa puuttua joitain vaatimuksia kokonaan. Jos vaatimuksia puuttuu, tulee vaatimusmäärittelyprosessissa palata taaksepäin ja korjata ongelmat.

Wiegiers (2003) mukaan vaatimusten validoinnin jälkeen vaatimukset täytyy priorisoida. Vaatumusten priorisointi auttaa allokoimaan rajoitettuja resursseja tehokkaammin järjestelmän toteuttamiseksi. Wiegiers (2013) esittää neljä kategoriaa, joiden mukaan vaatimukset voidaan priorisoida. Kosolan (2013) mukaan kolmiportaisen kategorisoinnin on todettu aiheuttavan vähemmän loogisia virheitä vaatimusten keskinäisessä priorisoinnissa. Kosolan esittämät kategoriat ovat:

1. ehdottomat tai kriittiset vaatimukset
2. tärkeät tai ensisijaiset vaatimukset
3. tarpeelliset tai toissijaiset vaatimukset

Vaatumusten priorisointia kategorioiden mukaan voidaan käyttää toteutuksessa monin eri tavoin. Voidaan esimerkiksi vaatia, että kaikki ehdottomat vaatimukset on täytettävä, tai että 75 % ensisijaisista vaatimuksista tulee täyttyä. Wiegiers (2003) mukaan vaatimukset voidaan myös priorisoida käyttämällä erilaisia matemaattisia arvostustekniikoita. Näille tekniikoille on yhteistä vaatimusten arvottaminen niiden tuottaman arvon, niihin liittyvien riskien sekä niiden synnyttämien kustannuksien mukaan. Tällaisia arvostustekniikoita ovat esimerkiksi:

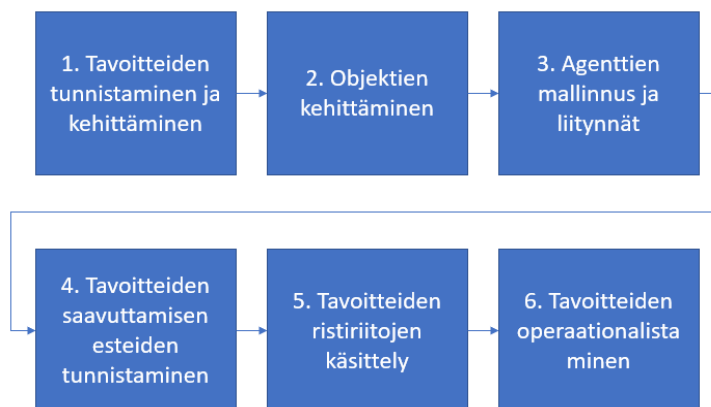
- Quality Function Deployment (QFD)
- Total Quality Management (TQM)

QFD tekniikka tarkoittaa käytännössä asiakkaalle tuotetun arvon vertaamista järjestelmän ominaisuuksiin. TQM taas tarkoittaa vaatimusten arvottamista erilaisien kriteerien suhteen tietyin painotuksin (Wieggers, 2003). Hood et al. (2008) argumentoi, että vaatimusten priorisoiminen voi olla hyvä ajatus, mutta jotkut organisaatiot eivät ole tarpeeksi kypsiä onnistuakseen siinä. Problematiikka piilee siinä, miten vaatimuksia vaaditaan toteutuvaksi. Toimitusketjussa kaikki sidosryhmät eivät välttämättä ymmärrä priorisointia samalla tavalla ja se voi johtaa joidenkin vaatimusten täyttymättömyyteen. Tällainen tilanne voi johtaa ikäviin ja paineenalaisiin neuvottelutilanteisiin, joissa vähintään toinen osapuoli yleensä joutuu tekemään kompromisseja.

## 2.2.2 Tavoitepohjainen vaatimusmäärittely

Tavoite eli päämäärä kertoo sen, mitä suunniteltavan järjestelmän on saavutettava. Tavoitteet voivat koskea järjestelmän sekä toiminnallisia että ei-toiminnallisia ominaisuuksia, lisäksi ne voivat olla hyvin eritasoisia kuten ”ydinlaitoksen tulee olla turvallinen” tai ”turvasignaalin tulee aktivoitua paineen laskiessa alle minimirajan”. Tavoitepohjainen vaatimusmäärittely alkaa järjestelmän kehittämisen taustalla olevien tavoitteiden tunnistamisella ja etenee johtamalla tavoitteista osatavoitteet ja osatavoitteet vaatimuksiksi (Letier & Lamsweerde, 2002; Renlund & Taskinen, 2004).

Renlund ja Taskinen (2004) listaavat Letierin ja Lamsweerden artikkelin perusteella kuusi eri vaihetta tavoitepohjaiselle vaatimusmäärittelylle. Renlundin ja Taskisen kuusi vaihetta on esitetty kuvassa 15. Tavoitepohjaisen vaatimusmäärittelyn aloittaminen vaatii sidosryhmien tunnistamisen ennen työn aloittamisesta, sillä tavoitteet usein vyöryvät järjestelmälle eri sidosryhmien kautta. Lisäksi tavoitteet eivät välttämättä aina ole eksplisiittisiä, minkä vuoksi analysointi on tehtävä huolella piilevien tavoitteiden löytämiseksi ja dokumentoimiseksi. Jos kehitettävän järjestelmän on tarkoitus korvata jokin olemassa oleva järjestelmä, on vanhan järjestelmän ongelmat ja puutteet hyvä tietolähde tavoitteiden määrittämiselle. Tavoitehierarkiaa tulee kehittää sekä ylhäältä alas, että alhaalta ylös. Tavoitteiden perusteella luotu hierarkia toimii myös itse vaatimusmäärittelydokumentin runkona (Letier & Lamsweerde, 2002; Renlund & Taskinen, 2004).



**Kuva 15.** Tavoitepohjaisen vaatimusmäärittelyn eri vaiheet (Renlund & Taskinen 2004 mukailten)

Toisessa vaiheessa tavoitteisiin liitetään objekteja, attribuutteja ja liityntöjä. Tavoiteilmaisujen perusteella voidaan tunnistaa ja liittää tavoitteisiin erilaisia muuttujia, jotka taas voidaan liittää järjestelmän elementteihin eli objekteihin. Esimerkiksi siirtolaite (objekti) ja sen sijainti (muuttuja). Kolmannessa vaiheessa tavoitteita puretaan edelleen osatavoitteiksi, kunnes ne voidaan kohdentaa jollekin agentille. Agentilla tarkoitetaan tässä yhteydessä järjestelmän jotain toimijaa, jolla on riittävät kyvyt vastata tavoitteen saavuttamisesta. Agentti voi olla esimerkiksi osajärjestelmä, ohjelmisto tai ihminen. Neljännessä vaiheessa suoritetaan esteanalyysi, jossa päämääränä on tunnistaa tavoitteiden toteutumisen tiellä olevat esteet. Esteanalyysi voidaan tehdä tavoitteiden negaatioiden avulla, joiden pohjalta kehitetään uusia tavoitteita. Viidennessä vaiheessa poistetaan tavoitteiden väliset ristiriidat lisäämällä tavoitteisiin tarvittaessa lisämääreitä. Viimeisessä vaiheessa tavoitteet operaationalistetaan, jonka tuloksena saadaan järjestelmän operatiivinen malli, joka puolestaan määrittelee järjestelmää koskevat vaatimukset (Renlund & Taskinen, 2004).

### 2.2.3 Vaatimusten muutostenhallinta

Hood et al. (2008) mukaan lähes jokaisessa projektissa tapahtuu muutoksia. Muutokset voivat tapahtua missä projektin vaiheessa tahansa. Mitä myöhäisemmässä vaiheessa muutos tapahtuu, sitä enemmän se yleensä aiheuttaa ongelmia. Projekteissa on yleensä paljon muuttujia, joita ei voida täydellisesti ennakoida, vaikka vaatimusmäärittely olisi-kin tehty niin hyvin kuin mahdollista. Hood et al. (2008) jakaa muutoksien lähteet vaatimusmäärittelystä riippuviin muutoksiin ja vaatimusmäärittelystä riippumattomiin muutoksiin. Näitä muutoksia on esitelty kuvassa 16.



**Kuva 16.** Muutosten lähteet (Hood et al. 2008 mukaillen)

Wiegers (2003) mukaan vaatimusten jäädyttäminen projektin alkuvaiheessa ei ole viisasta. Sen sijaan vaatimuksille tulisi määrittää lähtökohta (engl. baseline) niiden saavutuksessa suunnittelun aloittamista varten tarvittava kypsyys. Hood et al. (2008) mukaan yksi tärkeä tavoite on pyrkiä vähentämään niitä negatiivisia vaikutuksia, jotka johtavat muutoksiin. Tämä sen vuoksi, että suuri määrä muutoksia projektin loppuvaiheessa voi vahingoittaa projektin onnistumista. Siksi on tärkeää yrittää laatia niin hyvä vaatimusmäärittely niin aikaisessa vaiheessa kuin mahdollista. Yksi suuri sudenkuoppa on vaatimusmäärittelyjen kopiointi aikaisemmista järjestelmistä, jolloin virheet vaatimuksissa voi jäädä huomaamatta hyvinkin myöhäiseen vaiheeseen asti. Usein se, että projektin alussa tunnustetaan vain hyvin vähän muutostarvetta vaatimusmäärittelyssä voi tarkoittaa sitä, että vaatimusmäärittely on tehty epätavallisen hyvin. Mutta toisaalta se voi myös tarkoittaa aivan päinvastaista (Wiegers, 2003).

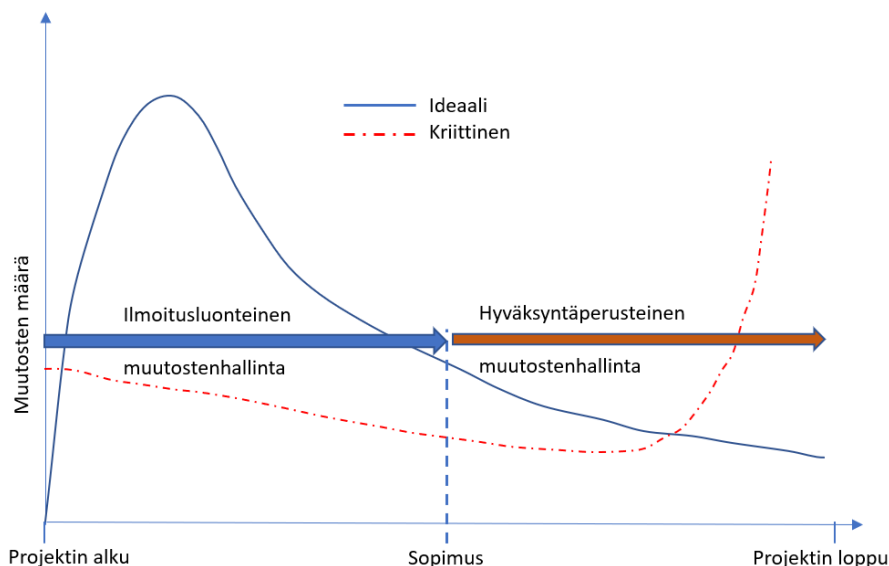
Vaatusmäärittelystä riippumattomiin muutoksiin voidaan hyvälläkin vaatimusmäärittelyllä vaikuttaa vain rajoitetusti. Hyvällä vaatimusmäärittelyllä ei voida esimerkiksi vaikuttaa käytettävissä oleviin resursseihin tai muutoksiin budjetissa. Toisaalta hyvällä vaatimusmäärittelyllä voidaan vähentää vaatimusmäärittelystä riippuvia ongelmia. Huono vaatimusmäärittely voi sisältää ristiriitaisia, keskeneräisiä tai tulkinnanvaraisia vaatimuksia. Vaatusmäärittely voi sisältää jopa sellaisia vaatimuksia, joiden täyttyminen on mahdotonta todentaa. Vaatimukset voivat olla myös liian abstrakteja tai laajakäsitteisiä, mikä myös vaikeuttaa niiden täyttymisen todentamista (Hood et al., 2008).

Kotonya ja Sommerville (1997) mukaan vaatimusten muutostenhallinta käsittää ne prosessit ja toimintamallit, joita tarvitaan järjestelmään kohdistuvien vaatimusten muutosten käsittelyyn. Muutostenhallinnan tulee järjestelmällisesti kerätä samankaltainen informaatio kaikista muutoksista tukemaan muutoksiin liittyvää päätöksentekoa. Muutosten hallinta edellyttää seuraavien toimenpiteiden implementoimista yrityksen toimintaan:

1. Yrityksen tulee määritellä muutosprosessi ja prosessin tarvitsema informaatio
2. Yrityksen tulee määrittää prosessi muutoksen vaikutuksien analysointia varten sekä muutoksen jäljitettävyyttä varten
3. Yrityksen tulisi määrittää itsenäinen muutoslautakunta, joka on kykeneväinen tekemään objektiivisia päätöksiä muutoksiin liittyen
4. Yrityksellä tulee olla jokin työkalu muutosprosessin hallintaan.

Wiegers (2003) ja Kosola (2013) molemmat painottavat, että yrityksellä tulee olla myös keinot kommunikoida muutoksia koskevat päätökset eteenpäin kaikille tarvittaville osapuolille ja sidosryhmille. Lisäksi on tärkeää varmistua muutoksien toteutumisen seurannasta. Vaatimuksiin kesken projektin tulevat muutokset ovat osa projektin eheyden- ja konfiguraationhallintaa.

Hood et al. (2008) ehdottaa muutostenhallinnan toteuttamista eri tavoin projektin eri vaiheissa. Ajatus ehdotuksen takana on se, että projektin aikaisessa vaiheessa vaatimusmäärittely kohtaa paljon muutoksia. Nämä aikaisessa vaiheessa tarvittavat muutokset voitaisiin toteuttaa ilman byrokratiaa ja muutosprosessia. Hood et al. (2008) kutsuu tätä informatiiviseksi muutostenhallinnaksi. Siinä vaiheessa, kun vaatimusmäärittely on tarpeeksi kypsä hyväksyttäväksi, tapa hallita vaatimuksia muuttuu hyväksyntäperusteiseksi. Tästä eteenpäin muutosten lukumäärä pitäisi olla pieni ja muutostenhallinnan tulisi noudattaa formaalia ja järjestelmällistä prosessia. Hood et al. (2008) ajatusta on kuvattu tarkemmin kuvassa 17.



**Kuva 17.** Ilmoitusluontoinen ja hyväksyntäperusteinen muutostenhallinta (Hood et al. 2008 mukaillen).

Myös Kosola (2013) toteaa että ennen vaatimusten hyväksymistä vaatimuksia voi muokata lähes vapaasti, mutta hyväksynnän jälkeen tulee noudattaa muutostenhallintaprosessia. Hyväksytyn vaatimusdokumentin perusteella luodaan baseline järjestelmän kon-

figuraatiolle. Täten vaatimusmuutokset hyväksytyn vaatimusdokumentin julkaisun jälkeen täytyy hyväksyttää myös konfiguraationhallinnan kautta (NASA, 2016).

## 2.2.4 Vaatimusten jäljittäminen ja täyttymisen hallinta

Laadukas vaatimustenhallinta sisältää keinot vaatimusten tilojen muuttumisen seuraamiselle ja täyttymisen todentamiselle. Vaatimusten tilojen seuranta on hyvä aloittaa viimeistään vaatimusten validoinnin jälkeisestä hyväksymisestä eli ennen järjestelmän suunnittelun aloittamista.

Kosola (2013) listaa erilaisia tiloja, joita vaatimuksille voidaan antaa:

1. Poistettu (vaatimus on todettu tarpeettomaksi)
2. Työn alla (vaatimuksen määrittäminen kesken)
3. Määritelty (vaatimuksen sisältö on määritetty mutta muodollinen hyväksyntä puuttuu)
4. Vahvistettu (vaatimus on hyväksytty ja vahvistettu toteutuskelpoiseksi)
5. Suunniteltu (vaatimuksen toteutus on suunniteltu)
6. Toteutettu (vaatimuksen sisältö on implementoitu)
7. Todennettu (toteutus on arvioitu ja ratkaisu on tiedossa)
8. Hyväksytty (toteutus vastaa hyväksyntäkriteerejä)
9. Hylätty (toteutus ei vastaa hyväksyntäkriteerejä)

Kolme ensimmäistä tilaa kohdistuvat vaatimukseen itseensä, kun taas tilat 4-8 koskevat ratkaisua johon vaatimus liittyy. Vaatimus voidaan myös hylätä, jos se todetaan tarpeettomaksi. Hylätty vaatimus voidaan aina palauttaa takaisin tilaan 4, jos hylkäys on tehty väärin perustein (Kosola, 2013). Sommerville & Sawyer (1997) mukaan hylätyt vaatimukset ja hylkäyksen perusteet tulee listata ja pitää tallessa, sillä aika ajoin hylätyt vaatimukset nousevat uudelleen esiin. Vaatimuksen tilojen muutokset 1-3 ovat yleensä järjestelmän kehittäjäorganisaation vastuulla, sen jälkeen vastuu vaatimuksen tilasta voi palautua edellisen työvaiheen omistajan vastuulle tai ylemmälle hierarkiatasolle, joka arvioi vaatimuksen toteutuksen analysoimalla ja evaluoimalla. Analyysin ja evaluaation perusteella todetaan vaatimuksen toteutus hyväksytyksi, jos se täyttää vaatimuksen hyväksyntäkriteerit. Tai hylätyksi, jos kriteerit eivät täyty (Kosola, 2013).

Vaatimusten jäljitettävyys on keskeistä laadukkaassa vaatimustenhallinnassa. Vaatimusten jäljitettävyydellä tarkoitetaan mahdollisuutta selittää ja jäljittää vaatimuksen koko elinkaari sekä eteenpäin että taaksepäin. Gotel (1995) mukaan jäljitettävyys käsittää kaksi dimensiota: horisontaalisen ja vertikaalisen. Gotelin ajatusta on kuvattu kuvassa 18.



Vaatimusdokumenttia edeltävä vaihe käsittää kappaleen 2.2.1 kuvassa 11 esitellyn vaatimusmäärittelyprosessin eri vaiheet: vaatimusten selvittämisen, analysoinnin, dokumentoinnin ja validoinnin. Tämän ensimmäisen vaiheen tuloksena syntyy vaatimusdokumentti, jonka perusteella muodostetaan vaatimusten baseline ja jonka perusteella järjestelmän suunnittelu voidaan aloittaa. Vaatimusdokumentin jälkeinen vaihe käsittää lähinnä suunnittelun aikaisen muutostenhallinnan tarvitseman jäljitettävyyden (Gotel, 1995).

Kosolan (2013) mukaan vaatimusten täyttyminen tai täyttymättä jääminen on pystyttävä todentamaan yksiselitteisesti. Yleisesti ottaen vaatimuksen todentaminen on helppoa, jos vaatimus koskee jotain suoritusarvoa, reunaehto tai muuta numeerista määrettä (esimerkiksi laitteen ajonopeutta). Tällöin vaatimuksella on selkeät täyttymiskriteerit. Sen sijaan täyttymiskriteeri ei välttämättä ole selkeä korkeamman abstraktiotason vaatimuksilla. Kotonya ja Sommerville (1997) sekä Wiegers (2003) kirjoittavat, että vaatimusten toteutumista voidaan arvioida erilaisilla testeillä. Wiegers (2003) mukaan järjestelmää testatessa olisi tärkeää käyttää järjestelmän todellisia käyttötapauksia. Jos vaatimukselle ei ole mahdollista rakentaa käyttötapausta vaatimuksen testaamista varten, se yleensä kertoo vaatimukseen liittyvistä ongelmista. Mahdolliset ongelmat voivat johtua esimerkiksi virheistä, laiminlyönneistä, puuttuvista tiedoista tai epäselvästä vaatimustekstistä. Testitapausten ehdottaminen validoi vaatimuksen mutta ei vielä itse järjestelmää. Siksi on erittäin tärkeää ajatella vaatimuksen testaamista ja toteutumisen todentamista jo vaatimusta kirjoitettaessa. Tärkeää on myös ottaa huomioon, jos vaatimusten täyttyminen vaatii useamman vaatimuksen huomioon ottamista. Tällaisissa sidonnaisuudet on tärkeää tuoda ilmi todennettavassa vaatimuksessa ja sen kriteereissä (Kotonya & Sommerville, 1997; Wiegers, 2003).

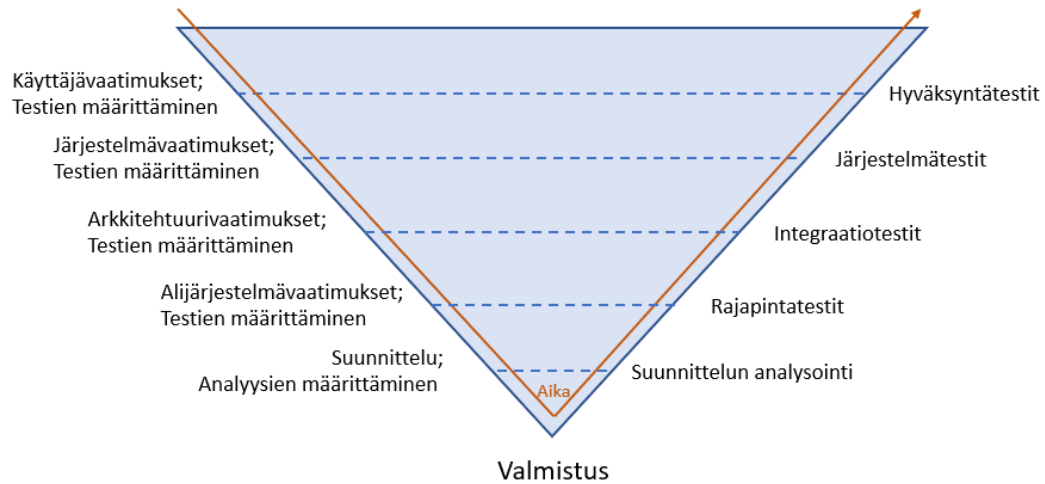
Järjestelmän testaamisen lisäksi vaatimuksia voidaan todentaa erilaisien analyysien ja tarkastuksien perusteella. Hood et al. (2008) mukaan vaatimusten täyttymisen todentamista varten on laadittava testispesifikaatio, jossa kerrotaan yksityiskohtaisesti kaikki tarvittavat keinot vaatimusten todentamiseksi. Testispesifikaation tulee vastata seuraaviin kysymyksiin:

1. Mitä pitää todentaa?
2. Miten se todennetaan?
3. Kuka todentaa?
4. Koska todennetaan?
5. Todentamiseen tarvittavat resurssit?

Yksi keino sitoa vaatimus ja sen todentaminen on käyttää vaatimuksen laadinnassa niin sanottua V-mallia. V-mallissa kantava ajatus on suunnitella vaatimusten todentamista samanaikaisesti vaatimusten ja vaatimusdokumentin luomisen kanssa. Mallin käyttö alkaa ylimmän tason vaatimuksista ja etenee portaittain alimman tason vaatimuksiin. Vaatimuksia kirjataan vaatimusmäärittelyyn ja samalla rakennetaan testispesifikaatiota, jo-



hon määritellään kunkin vaatimuksen toteutumiskriteerit sekä keinot, joilla kriteerien täytyminen todennetaan. V-malli mainitaan usein vaatimustenhallintaan liittyvässä kirjallisuudessa muun muassa Wiegers (2003) ja Hood et al. (2008). V-malli on esitelty kuvassa 20.



**Kuva 20.** V-malli (Wiegers 2003 ja Hood et al. 2008 mukailten)

## 2.2.5 Vaatimusmäärittelyissä yleisesti tunnistetut ongelmat

Huolimatta siitä, että vaatimustenhallintaan liittyvät hyvät käytännöt ovat olleet saatavilla jo pidemmän aikaa, on laaduton vaatimustenhallinta edelleen yksi iso syy projektien epäonnistumiselle. Huonosta vaatimustenhallinnasta voi seurata esimerkiksi aikataulu- ja budjettiylityksiä, vajaita toiminnallisuuksia, huonoa laatua, asiakastyytymättömyyttä ja menetettyjä markkinaosuuksia (Firesmith, 2007; Wiegers, 2003).

Firesmith (2007) listaa vaatimustenhallintaan liittyviä kokemuspäisesti tunnistettuja ongelmia. Nämä ongelmat on esitelty taulukossa 2.

**Taulukko 2.** *Vaativuushallintaan liittyviä ongelmia (Firesmith 2007 mukailleen)*

Ongelma	Selite
Huonot vaatimukset	Vaatus ei ole selkeä, yksiselitteinen tai vaatus on liian laaja, virheellinen, vanhentunut, epäoleellinen tai turha. Vaatus voi olla myös mahdoton toteuttaa tai sen kuvaamisessa on käytetty epäselvää terminologiaa.
Käyttötapausten liian suuri painottaminen	Käyttötapaudet sopivat toiminnallisten vaatusten tunnistamiseksi. Muita tekniikoita on hyödynnettävä esimerkiksi rajapintoihin liittyvien vaatusten ja ei-funktionaalisten vaatusten määrittämisessä.
Liiallinen määrittäminen	Vaatusmäärittelyt sisältävät usein paljon vaatuksia, jotka eivät ole pakollisia. Usein esimerkiksi arkkitehtuuria ja suunnittelua varten luodut rajoitteet merkitään virheellisesti vaatuksiksi. Tämä johtaa helposti tarpeettomaan määrittelyyn siitä, miten järjestelmä tulisi rakentaa sen sijaan että määriteltäisiin mitä järjestelmän tulee tehdä tai kuinka hyvin.
Huono jäljitettävyyden	Vaatusien lähteet (ylätason vaatukset, muut dokumentit tai sidosryhmät) ovat hankalasti jäljitettävissä, jos ollenkaan.
Puutteelliset vaatimusmäärittelyt	Kaikkia tarvittavia vaatuksia ei ole syystä tai toisesta tunnistettu.
Vaatusmäärittelyn liiallinen eläminen	Vaatusmäärittelyihin kohdistuu lähes aina muospaineita johtuen esimerkiksi pitkästä suunnitteluprosessista; vaatimusmäärittelyn tulee voida elää projektin kehittyessä. Ongelmia syntyy, jos vaatusten muuttumista/lisääntymistä ei hallita.
Vaatusien laadun puutteellinen tarkastaminen	Vaatusien laatua ei ole tarkistettu tarpeeksi hyvin tai tarpeeksi aikaisessa vaiheessa ongelmien välttämiseksi myöhemmissä vaiheissa.
Puutteet vaatusten todentamisessa	Vaatusien täyttymisen todentamista ei ole jostain syystä suunniteltu.
Riittämättömän vaatustenhallinta	Vaatuset on usein säilötty hajallaan oleviin dokumentteihin ilman vaatusten omistajien määrittämistä. Vaatusien statusta ei seurata, niitä ei priorisoida tai niiden metatiedot jäävät puutteelliseksi.
Vaativuushallintaa ei ole kuvattu	Prosessi ei ole selkeä eikä sitä ole dokumentoitu, minkä takia tärkeitä aktiviteetteja jää suorittamatta sekä roolit ja tuotokset määrittämättä.
Riittämättömät työkalut vaatustenhallinnassa	Usein vaatustenhallintaan ei ole käytössä kunnollisia työkaluja.
Vihkiytymättömyys vaatustenhallintaan	Vaativuushallinta jätetään usein ihmisten haltuun, joilta puuttuu vaatustenhallintaan tarvittava osaaminen.

Christelin ja Kangin (1992) mukaan vaatukseen liittyvät ongelmat voidaan jakaa kolmeen kategoriaan: laajuuteen liittyvät ongelmat, ymmärrykseen liittyvät ongelmat ja aihtelevuuteen liittyvät ongelmat.

Laajuuteen liittyvät ongelmat koskevat usein järjestelmän rajapintoja. Järjestelmän rajapinnat ovat epäselvät tai vaatimusmäärittely sisältää tarpeettomia vaatimuksia ja informaatiota. Christelin ja Kangin (1992) raportin mukaan järjestelmien rajapintojen määrittäminen on tärkeä osa vaatimusmäärittelyn laadintaa. Vaatimusmäärittelyn laatimisen tulisi keskittyä todellisten vaatimusten määrittämiseen unohtaen liian kunnianhimoiset järjestelmän suunnitteluaktiviteetit. Vääriin asioihin keskittyminen voi painottaa järjestelmän kehittäjän kokemia ongelmia enemmän kuin käyttäjien tarpeita. Lopputuloksena syntyy usein vaatimuksia, jotka ovat keskeneräisiä, tarpeettomia, soveltumattomia tai ne eivät ole verifioitavissa (Christel & Kang, 1992).

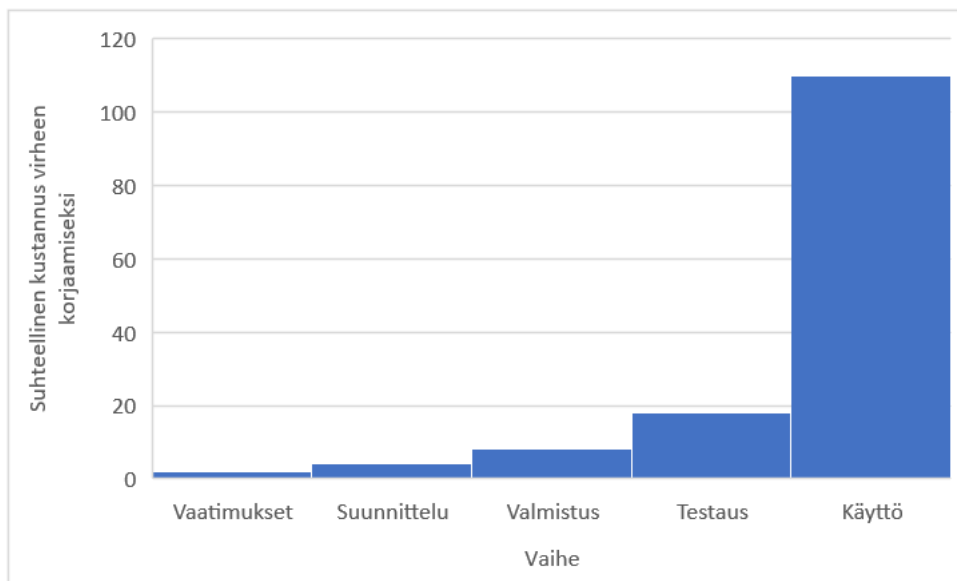
Ymmärrykseen liittyvät ongelmat liittyvät usein vaatimusten sidosryhmien erilaiseen käsitykseen ongelmakentästä tai vajavaiseen käsitykseen omista tarpeistaan. Tilanne voi synnyttää ristiriitaisia vaatimuksia tai vajavaisesti kirjoitettuja vaatimuksia. Vaatimusten laadintaan osallistuvien ihmisten subjektiivinen kokemustausta voi johtaa asioiden ymmärtämiseen eri tavalla (Christel & Kang, 1992). Kuten kappaleessa 2.2.5 todettiin, vaatimustenhallinnasta vastaavassa tiimissä tulee olla oikea kombinaatio erilaisia taitoja ja osaamista. Berry (1995) argumentoi omien kokemustensa mukaan ja on samoilla linjoilla Christelin & Kangin kanssa siitä, että ihmiset saattavat ymmärtää eri käsitteet eri lailla. Käytännössä tilanne voi johtaa siihen, että ihmiset luulevat ymmärtävänsä toisiaan, vaikka oikeasti ymmärrys on enemmänkin pintapuolista. Tällöin keskustelu johtaa ihmiset vain syvemmälle oman ymmärryksensä siiloon eikä yhteisymmärrys tosiasiasa kasva ollenkaan. Siksi Berryn mukaan jokaisessa tiimissä olisi hyvä olla niin sanottu ”ignoramus” eli henkilö, jolla on hyvät kommunikointitaidot sekä hyvä tekstintuottokyky, mutta ei minkäänlaista kosketuspintaa käsiteltävään aiheeseen. Tämän henkilön tehtävänä on yrittää löytää epäjohdonmukaisuuksia ihmisten puheista ja siten rakentaa siltoja ihmisten ymmärryksen välille (Berry, 1995).

Vaatimusten sisältö muuttuu yli ajan. Tämä on normaalia, sillä varsinkin vaatimuksia kehitettäessä lähtötiedot eivät välttämättä ole täydellisiä. Toisaalta vaatimukset voivat muuttua lisääntyneen tiedon tai toimintaympäristöön kohdistuvien muutoksien vuoksi, mutta pääasiallinen syy on muutokset loppukäyttäjän tarpeissa. Tilannetta on kuvattu aiemmin kappaleen 1.1 kuvassa 1. Jos muutoksia ei oteta huomioon vaatimuksissa, alkuperäiset vaatimukset muuttuvat keskeneräisiksi ja uuteen tilanteeseen sopimattomiksi. Vaatimusten ailahtelevuus voi johtua myös eri sidosryhmien tarpeiden välisistä ristiriidoista. Eri sidosryhmien tarpeet voivat poliittisista syistä saada suuremman painotuksen ja tämä painotus voi ajan myötä muuttua (Christel & Kang, 1992).

Wiegers (2003) tunnistamat ongelmat ovat yhteneviä Firesmith (2007) tunnistamien ongelmien kanssa (taulukko 1). Wiegers kuitenkin lisää, että myös loppukäyttäjien riittämätön osallistaminen sekä riittämätön suunnittelu aiheuttavat riskin vaatimusmäärittelyn epäonnistumille. Wiegers mukaan yksi suurimmista, huonoista vaatimuksista johtuvista seurauksista on yleensä uudelleen tehtävä työ. Uudelleen tekeminen voi käsittää jopa 30–50 % kehitystyöhön liittyvistä kustannuksista ja huonoista vaatimuksista johtu-

va uudelleen tekeminen voi käsittää jopa 70–85 % uudelleen tekemisen kustannuksista (Wiegers, 2003).

Uudelleen tekemisen suhteellisia kustannuksia projektin eri vaiheissa on havainnollistettu kuvassa 21. Kuvasta voidaan nähdä, miten virheiden korjaaminen vaatimusmäärittelyvaiheessa on monin verroin kustannustehokkaampaa kuin projektin myöhemmissä vaiheissa. Ero virheiden korjaamisesta aiheutuvista kustannuksista on jo lähes kaksinkertainen verrattaessa vaatimusmäärittelyvaihetta ja suunnitteluvaihetta (Lopez, 2011; Wiegers, 2003).



**Kuva 21.** Virheen korjaamisen suhteelliset kustannukset eri vaiheissa (Wiegers 2003 mukaillen)

Varsinkin turvallisuuskriittisten järjestelmien kehittämisessä järjestelmien vaatimukset on voitava määrittää tarkasti, jotta kaikki kriittiset ominaisuudet, kuten turvallisuus ja vikasietoisuus tulevat varmasti huomioiduksi. Letierin ja Lamsweerden (2002) mukaan on yleisesti tunnistettu, että varsinkin ohjelmistoteollisuudessa pahimmat puutteet lopputuotteessa johtuvat huolimattomasti laadituista vaatimusmäärittelyistä. Letierin ja Lamsveerden mukaan tavoiteperusteinen vaatimusmäärittely yhtenä abstraktiotasona vaatimuksia laadittaessa voisi olla yksi ratkaisu tähän ongelmaan. Varsinaiset vaatimukset tulisi johtaa tavoitteista käyttäen muodollisia vaatimusmäärittelytekniikoita yhdessä esimerkiksi testausspesifikaation kanssa (Letier & Lamsweerde, 2002).

## 2.2.6 Vaatimustenhallinnan hyvät käytännöt

Hoffmann & Lehner (2001) tutkimuksen mukaan onnistuneissa projekteissa 15–30 % projektin kaikista resursseista on allokoitu vaatimusmäärittelyprosessiin. Tutkimuksessa esitetään myös, että onnistuneissa projekteissa vaatimusmäärittelyprosessiin allokoitujen resurssit ovat tasapainossa prosessin eri vaiheissa: keskimäärin 11 % vaatimusten selvit-

tämiseen, 10 % vaatimusten analysointiin ja noin 7 % vaatimusten validointiin. Hoffman & Lehner (2001) toteavat, että onnistunut vaatimusmäärittely tarvitsee taakseen oikean kombinaation substanssiosaamista, resursseja ja vaatimusmäärittelyosaamista. Vaatimusmäärittelyn suorittaminen onnistuneesti vaatii kaikkien rajapintojen ja vaatimuslähteiden tunnistamisen ja analysoimisen. Lisäksi onnistuminen vaatii tiivistä yhteistyötä kaikkien osallisten sidosryhmien kanssa. Jatkuva kommunikointi sidosryhmien suuntaan edesauttaa vaatimusten oikeaa tulkintaa, vähentää muutostarvetta ja tietokatkoksia. Hoffmann & Lehner korostavat myös vaatimusten priorisoimisen tärkeyttä; priorisoiminen edesauttaa vaatimusmäärittelyä työstävää tiimiä päättämään, mitkä vaatimukset tulee toteuttaa milloinkin ja millä tarkkuudella. Vaatimuksia tulisi hallita jäljittävyyssmatriisin avulla, johon on kerätty vaatimuksiin liittyvää informaatiota, kuten niiden lähteet, prioriteetit, vastuulliset tahot, tilat ja niin edelleen (Hoffmann & Lehner, 2001).

Sommerville & Sawyer (1997) mukaan yleispätevää metodia vaatimustenhallintaan ei ole, vaan toimintatapa on aina sovitettava yrityskohtaisesti. On kuitenkin olemassa joitain perussääntöjä, joita mikä tahansa organisaatio voi ottaa käyttöön riippumatta yrityksen liiketoiminnasta tai vaatimustenhallinnan käytäntöjen maturiteetista. Sommerville & Sawyer luettelee 10 tällaista ohjenuoraa:

- Vaatimusdokumentin rakenne ja muoto tulee vakioida
- Vaatimusdokumentin muuttaminen tulee olla helppoa
- Jokaisella vaatimuksella tulee olla uniikki tunnus
- Vaatimusten muutostenhallintaprosessi tulee määritellä
- Vaatimusdokumentissa käytettävä kieli tulee olla mahdollisimman yksinkertaista, johdonmukaista, ytimekästä ja yksiselitteistä
- Vaatimusmäärittelyille tulee määrittää muodolliset tarkastusmenettelyt
- Vaatimusten validoinnille tulee laatia muistilista
- Myös vaatimusten analysointi tulee suorittaa oman muistilistan avulla
- Toimintatavat konfliktien ratkaisemiseksi tulee määrittää

Sommerville & Sawyer (1997) luettelee vaatimusten validoinnille seitsemän ohjetta, joita noudattamalla vaatimusmäärittelyistä on mahdollista saada laadukkaita ja tarkoituksenmukaisia:

- Vaatimusten tulee kokonaisia ja niiden tulee sisältää kaikki vaatimukseen oleellisesti liittyvä informaatio
- Vaatimusten tulee olla johdonmukaisia ja ristiriidattomia keskenään
- Vaatimusten tulee olla niin selkeitä, että vaatimusmäärittelyn lukija pystyy ne ymmärtämään
- Vaatimusten tulee olla yksiselitteisiä ilman tulkinnanvaraa
- Vaatimusten tulee olla strukturoituja ja ne on hyvä ryhmitellä aihealueiden mukaisesti

- Vaatimusten tulee olla jäljitettävissä, niillä tulee olla uniikki tunniste
- Vaatimusten tulee olla jäljitettävissä vaatimuksen lähteeseen

## 2.2.7 Vaatimustenhallinta ydinlaitoksissa

Renlundin ja Taskisen (2004) selvityksen mukaan vaatimustenhallintaa voidaan soveltaa ydinlaitoksissa uusien laitosten ja niihin liittyvien järjestelmien tarjouspyynnöissä, tarjousvertailussa ja hankinnoissa. Turvallisuuteen liittyviltä järjestelmiltä edellytetään korkeaa luotettavuutta, minkä täytyy olla tarvittaessa todennettavissa. Jotta todentaminen olisi mahdollista, on järjestelmien vaatimusmäärittelyt oltava tarpeeksi laadukkaita. Kuten kappaleessa 2.2.6 on todettu, huono vaatimusmäärittely on usein juurisyyinä projektien epäonnistumiselle (Letier & Lamsweerde, 2002; Renlund & Taskinen, 2004).

Tavoitepohjainen lähestymistapa on hyvä lähtökohta varmistamaan laadukas vaatimusmäärittely. Tapa sopii hyvin turvallisuuskriittisille järjestelmille, sillä se katsoo asioita laajemmasta järjestelmäperspektiivistä. Tavoitepohjaisen vaatimusmäärittelyn lisäksi muodolliset vaatimusmäärittelytavat, vaatimusten katselmoinnit ja vaatimusten jäljitettävyyden hallinta muodostavat yhdessä hyvät työkalut turvallisuuskriittisten järjestelmien luotettavuuden ja laadun varmistamiseen (Letier & Lamsweerde, 2002; Renlund & Taskinen, 2004).

STUK:n laatima YVL ohje B.1 ”Ydinvoimalaitoksen turvallisuussuunnittelu” asettaa luvanhaltijalle vaatimukset ydinlaitosten järjestelmien vaatimustenhallintaa koskien. Ohjeen mukaan ydinlaitoksen turvallisuuden kannalta tärkeille järjestelmille on laadittava vaatimusmäärittelyt. Vaatimusmäärittelyt tulee laatia niin tarkkaan, että vaatimusmäärittelyprosessista riippumaton suunnittelija pystyy suorittamaan järjestelmän eliniän aikana tarvittavat muutokset. Vaatimusmäärittelyiden on toiminnallisten vaatimusten lisäksi sisällettävä myös tarvittavat laatuvaatimukset ja standardiviitteet. Standardien käytölle ja niihin mahdollisesti kohdistuville poikkeuksille on vaatimusmäärittelyssä annettava perustelut sekä niiden vaikutukset on analysoitava. Vaatimusmäärittelyihin kirjattujen vaatimusten on oltava yksiselitteisiä, ristiriidattomia sekä jäljitettäviä. Vaatimusten jäljitettävyys on osa järjestelmän kelpoistusprosessia. Vaatimusmäärittelyt on alistettava kyseisen järjestelmän suunnittelusta ja toteutuksesta riippumattomien asiantuntijoiden arvioitavaksi vaatimusmäärittelyn oikeellisuuden, täydellisyyden ja ristiriidattomuuden arvioimiseksi (YVL B.1, 2013).

Ydinlaitoksen järjestelmien tulee olla soveltuvia käyttötarkoitukseensa ja käyttöpaikkaansa. Soveltuvuuden ja vaatimusten mukaisuuden osoittamisesta käytetään termiä ”*kelpoistus*”. Ydinlaitokseen sisällytettävät järjestelmät kelpoistetaan niille määritellyn turvallisuusluokan mukaisesti. Kelpoistamisen tarkoituksena on osoittaa järjestelmän täyttävän kaikki sille asetetut vaatimukset kaikissa käyttötilanteissa ja niissä olosuhteissa, johon se on suunniteltu. YVL-ohje B.1 asettaa yleiset vaatimukset ydinlaitoksen kelpoistamisesta. Lisäksi kutakin suunnittelun eri osa-aluetta koskevat tietyt spesifiset

YVL-ohjeet, jotka määrittävät seikkaperäisemmin kutakin osa-aluetta koskevia kelpoistusvaatimuksia (YVL B.1, 2013). Eri suunnittelualoihin liittyviä spesifisiä ohjeita on havainnollistettu kuvassa 22.

<u>Mekaaniset ja prosessitekniset järjestelmät:</u>	
YVL E.3	Ydinlaitoksen painesäiliöt ja putkistot
YVL E.8	Ydinlaitoksen venttiilit
YVL E.9	Ydinlaitoksen pumput
YVL E.11	Ydinlaitoksen nosto- ja siirtolaitteet
<u>Sähkö- ja automaatiojärjestelmät:</u>	
YVL E.7	Ydinlaitoksen sähkö- ja automaatiolaitteet
<u>Rakennustekniset järjestelmät:</u>	
YVL E.6	Ydinlaitoksen rakennukset ja rakenteet
<u>Kalliorakentaminen:</u>	
YVL D.5	Ydinjätteen loppusijoitus
YVL D.7	Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen vapautumisesteet
YVL E.6	Ydinlaitoksen rakennukset ja rakenteet

**Kuva 22.** Suunnittelualoja koskevat YVL-ohjeet.

Kelpoistaminen tehdään luvanhaltijan tekemän kelpoistussuunnitelman mukaisesti. Kelpoistussuunnitelman tulee sisältää kaikki tarvittava järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden suunnittelun sekä toteutuksen yhteydessä tuotettu aineisto. Lisäksi suunnitelmaan on sisällytettävä kaikki kelpoistusta varten tuotetut ulkopuoliset arviot, analyysit, testit ja koestukset. Myös ulkopuolisen aineiston tuottaja ja tuottamiseen käytetyt menetelmät tulee esittää aineistossa. Kelpoistussuunnitelmasta on käytävä ilmi kelpoistamisen aikataulu, etenemissuunnitelma sekä riippuvuudet suhteessa laitosprojektin etenemiseen. Viimeiseksi suunnitelmassa on esitettävä kelpoistamisen aikana tuotettu aineisto, sekä luvanhaltijan itsensä tekemä arvio kelpoistamisen onnistumisesta (YVL B.1, 2013).

Ydinlaitoksiin kohdistuvat vaatimukset eivät pääsääntöisesti ole vaativampia kuin muillakaan teollisuuden aloilla. Suurin ero muihin teollisuuden aloihin nähden on se, että ennen rakentamisen aloittamista kaikki suunnitelmat tulee olla tarkasti dokumentoituja ja viranomaisen hyväksymiä. Lisäksi hyväksytyistä suunnitelmista poikkeamista kesken rakentamisen ei sallita. Virheet suunnitelmissa johtavat pääsääntöisesti suunnitelmien muokkaamiseen ja uudelleenhyväksyttämiseen, mikä saattaa merkitä aikataulullisten riskien realisoitumista.

## 2.3 Hankintatoimen ja vaatimustenhallinnan suhde

### 2.3.1 Hankintatoimi yleisesti

Peter Porter (1985) mukaan hankinta on yksi arvoketjun tukitoiminnoista. Määritelmän mukaan hankintatoimi tukee sekä yrityksen päätoimintoja, mutta myös muita yrityksen tukitoimintoja. Van der Puil & van Weele (2014) mukaan hankintatoimi tarkoittaa yrityksen ulkoisten resurssien hallintaa ja johtamista siten, että se tukee yrityksen ydin- ja tukiprosesseja parhaalla mahdollisella tavalla. Iloranta & Pajunen-Muhonen (2015) ovat samoilla jäljillä, ja heidän mukaansa ulkoisten resurssien hallinnan tulee tukea asiakkaan tarpeiden tyydyttämistä yrityksen oman kokonaisedun mukaisesti. Van Weele (2010) määritelmän mukaan hankintatoimi tarkoittaa kaikkien yrityksen pää- ja aputoimintojen ylläpitoon tarvittavien ulkoisten resurssien hankkimista parhailla mahdollisilla ehdoilla.

Nykyaikaiset hankinnat voidaan pääsääntöisesti kategorisoida viiteen eri kategoriaan: toistuvan tuotannon hankinnat, projektityyppisen tuotannon hankinnat, investoinnit, epäsuorat hankinnat ja välitettävät kauppatavarat (Iloranta & Pajunen-Muhonen, 2015).

Hankinnoilla on yrityksille suuri taloudellinen merkitys. Hankinnat käsittävät kaikki suoraan yrityksen ulkopuolelta hankittavat resurssit, kuten raaka-aineet, palvelut ja tavarat (kauppatavarat mukaan lukien), joita tarvitaan yrityksen tuotteiden tai palveluiden tuottamiseen. Näiden lisäksi yrityksen hankinnat käsittävät paljon epäsuoria hankintoja ja investointeja, mitkä yleensä piiloutuvat tilinpäätöslaskelmassa muiden kuin välittömien hankintojen alle. Jos kaikki suorat ja epäsuorat hankinnat lasketaan mukaan, voi yksityisellä sektorilla toimivan yrityksen hankintojen osuus kokonaisuudessaan olla jopa 80 % yrityksen kustannusrakenteesta (Iloranta & Pajunen-Muhonen, 2015).

Iloranta ja Pajunen-Muhonen (2015) mukaan hankintatoimen osalta parhaiden käytäntöjen esittäminen on mahdotonta johtuen tapauskohtaisista muuttujista. Erilaisten hankintojen, markkinatilanteiden ja toimittajasuhteiden suuren määrän takia on vaikea soveltaa yksittäisiä, yleispäteviä toimintamalleja. Kun vielä otetaan huomioon hankintojen suuruusluokat, aikataulut, hankintojen strategiset merkitykset, asiakkaat ja toimittajamarkkinat, kasvaa erilaisten kombinaatioiden määrä todella suureksi.

### 2.3.2 Hankintatoimen strateginen merkitys

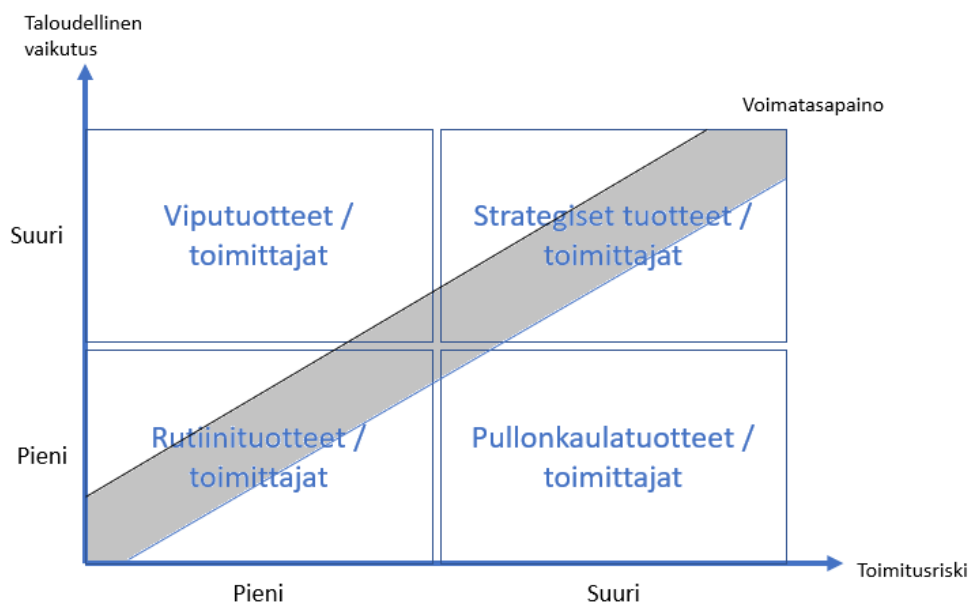
Reinecke et al. (2007) tutkimuksen mukaan yrityksen kannattavuus korreloi voimakkaasti yrityksen hankintaosaamisen kanssa. Tutkimukseen osallistuneista yrityksistä parhaimman hankintaosaamisen omaavien yritysten liike-tulos oli keskimäärin 5 % parempi kuin heikompien tutkimukseen osallistuneiden yritysten. Lisäksi tutkimuksen tulokset osoittavat kolme tekijää, jotka esiintyvät menestyneissä yrityksissä:



1. Parhaimmissa yrityksissä palkattiin hankinnan johtotehtäviin viisi kertaa todennäköisemmin sellaisia ihmisiä, joilla oli kokemusta yleisjohtamisesta ja joilla oli analyttisiä kykyjä. Parhaimmissa yrityksissä hankinnan johtotehtävissä työskentelevillä oli myös kokemusta muista organisaation funktioista. Parhaimmista yrityksistä 75 % kierrättivät hankintatoimen ihmisiä organisaation eri tehtävissä tuottaakseen laajan kokemuksen ja ymmärryksen organisaation toiminnasta.
2. Toinen tekijä liittyy siihen, miten hankintatoimen ihmiset näkivät roolinsa yrityksessä. Menestyneimmissä yrityksissä hankintatoimen ihmiset tunsivat, että heiltä odotetaan paljon enemmän kuin vain kustannusten pienentämistä. Huonoiten sijoittuneista yrityksistä vain 11 % tunnistivat toiminnassaan jatkuvaa parantamista.
3. Menestyneissä yrityksissä hankinnan johtohenkilöt olivat tiiviisti mukana yrityksen liiketoiminnan suunnittelussa. Lisäksi menestyneimmistä yrityksistä 80 % ottivat hankintatoimen mukaan tuotekehitykseen jo konseptivaiheessa.
4. 90 %:ssa menestyneistä yrityksistä yrityksen hankintatoimi teki merkittävää yhteistyötä myynnin ja markkinoinnin kanssa löytääkseen uusia ajatuksia ja hyödynnettäviä teknologioita.

Kuten aiemmin kappaleessa 2.3.1 todettiin, yrityksen hankinnat voivat kattaa jopa 80 % yrityksen kokonaiskustannuksista. Hankinnan tulisi olla näkyvä osa yrityksen strategiaa, jos yrityksen kustannuksista valtaosa syntyy yrityksen ulkopuolella. Hankintastrategia voidaan muodostaa eri kategorioiden kautta kategoriastrategialla (Iloranta & Pajunen-Muhonen, 2015)

Peter Kraljic (1983) kehitti portfoliomatriisin kuvaamaan erilaisia hankintastrategioita perustuen ostettavan hyödykkeen merkitykseen yritykselle ja hyödykkeen markkinatilanteeseen. Van Weele (2010) on sovelletusti jalostanut portfoliomatriisin dimensioita kuvassa 23 esitetyllä tavalla. Van Weelen matriisissa X-akseli kuvastaa hyödykkeen toimitusriskiä ja Y-akseli hyödykkeen taloudellista vaikutusta. Kuvassa näkyvä harmaa alue merkitsee voimatasapainoa ostajan (alueen yläpuoli) ja myyjän (alueen alapuoli).



**Kuva 23.** Kraljicin portfoliomatriisi (van Weele 2010 mukailleen)

Matriisin vasen ylänurkka edustaa viputuotteita ja -toimittajia. Tähän laatikkoon osuvat esimerkiksi normaalit hyödykkeet, joille on useita toimittajia saatavilla ja joiden ostovolyymit ovat suuret. Suuren tarjonnan myötä toimitusriski on pieni. Näiden tuotteiden kustannukset näyttelevät suhteellisen suurta osuutta lopputuotteen hinnasta, jolloin pienikin hintamuutos aiheuttaa suhteellisen suuren muutoksen lopputuotteen hintaan. Viputuotteiden toimittajan vaihtaminen on yleensä helppoa ja halpaa, jonka vuoksi tämän laatikon strategiana on hintakilpailu. Pitkien toimitussopimuksien sijaan viputuotteiden toimittajien kanssa voidaan solmia raamisopimuksia ja harjoittaa spottikauppaa (van Weele, 2010).

Vasen alanurkka edustaa rutiinituotteita ja -toimittajia. Tähän laatikkoon osuvat esimerkiksi tuotteet, joille on markkinoilla paljon vaihtoehtoja saatavilla. Tyypillisiä rutiinituotteita ovat esimerkiksi vähäisen arvon varastotuotteet. Tällaisilla tuotteilla on suuresta tarjonnasta johtuen sekä pieni toimitusriski että pieni taloudellinen vaikutus. Rutiinituotteiden kohdalla ongelmaksi voi koitua tuotteiden hintaan nähden suhteellisen isot transaktiokustannukset. Rutiinituotteiden hankinnassa strategiana tulisikin olla tehokkuus ja transaktiokustannusten minimointi (van Weele, 2010).

Van Weelen matriisin oikea ylänurkka edustaa strategisia tuotteita ja toimittajia. Tähän laatikkoon osuvien tuotteiden volyymit ovat suuret ja ne sisältävät yleensä korkeaa teknologiaa. Strategiset tuotteet on yleensä myös valmistettu täysin asiakkaan spesifikaatioiden mukaisesti. Näiden tuotteiden merkittävimpana riskitekijänä on yleensä vain yksi toimittajavaihtoehto, jota ei voida lyhyellä tähtäimellä vaihtaa järkevin kustannuksin. Tyypillinen esimerkki strategisesta tuotteesta on esimerkiksi auton moottori tai vaihde-laatikko, tai vaikka voimalaitoksen turbiini. Myös strategisilla tuotteilla on iso vaikutus lopputuotteen hintaan. Riippuen ostotilanteen voimatasapainosta strategisten tuotteiden

hankintastrategiana tulisi olla kumppanuuden ja vahvojen siteiden luominen yritysten välillä. Oleellista on jo hyvin alkuvaiheessa tarkasti valittu toimittaja, jolla on riittävät edellytykset läheiseen yrityssuhteeseen (van Weele, 2010).

Viimeinen laatikko edustaa niin sanottuja pullonkaulatuotteita ja -toimittajia. Näille tuotteille on tyypillistä monopolistinen markkina, jolle pääsemisessä on suuri kynnys. Tuotteet sisältävät yleensä erittäin korkeaa teknologiaa ja toimittajia on usein vain yksi. Rahallisesti pullokaulatuotteet eivät näyttele merkittävää osaa lopputuotteen hinnassa. Pullonkaulatuotteiden toimittajalla on kuitenkin yleensä monopoliasema, jolloin yksikkökustannukset voivat nousta korkeiksi. Strategiana pullonkaulatuotteiden osalta tulisi turvata saatavuus ja riippuvuuden vähentäminen pullonkaulatuotteista ja -toimittajista. Riippuvuutta voidaan vähentää esimerkiksi vaihtoehtoisia tuotteita kehittämällä tai etsimällä uusia toimittajia. Riippuvuuden vähentäminen voi kuitenkin aiheuttaa merkittäviä kustannuksia. Saatavuutta voidaan turvata esimerkiksi varastoinnin avulla (van Weele, 2010).

### **2.3.3 Proaktiivinen hankinta**

Hankintatoimen toimintojen sisältö yrityksissä määräytyy yleensä sen mukaan, millainen kilpailutilanne yrityksen liiketoimintaympäristössä vallitsee. Varsin usein hankintatoimen päätehtävänä on ollut transaktionaalinen toiminta; oikeiden hyödykkeiden hankkiminen oikea-aikaisesti oikeaan paikkaan ja oikeaan hintaan. Tällaisissa yrityksissä toiminta on usein reaktiivista, mikä tarkoittaa, että pitkäjänteisyyden sijaan ajaututaan lyhyeen suunnitteluhorisonttiin eli päiväkohtaisten tarpeiden tyydyttämiseen. Tällöin hankintatoimen päätehtävä on kahden osapuolen väliset transaktiot ja toiminta pyrkii reagoimaan muutoksiin vasta muutoksien jo tapahduttua. Ominaista reaktiivisessa toiminnassa on keskittyminen sopimustekniikkoihin ja kilpailuttamiseen (Iloranta & Pajunen-Muhonen, 2015).

Kehittyneissä yrityksissä työajasta kuitenkin vain pieni osaa kuluu transaktioiden tekemiseen. Valtaosa työajasta kuluu tällaisissa yrityksissä toimittajaverkoston kehittämiseen ja hallintaan. Nykyaikainen hankintatoimi pyrkii proaktiivisesti vaikuttamaan muutoksiin ja ohjaamaan muutoksia haluttuun suuntaan ennen muutoksien tapahtumista. Proaktiivinen hankintatoimi pyrkii varmistamaan, että yritys saa käyttöönsä uudet ratkaisut ja osaamisen ensimmäisten joukossa. Taulukossa 3 on vertailtu reaktiivista ja proaktiivista otetta hankintatoimessa (Baily et al., 2005; Iloranta & Pajunen-Muhonen, 2015).

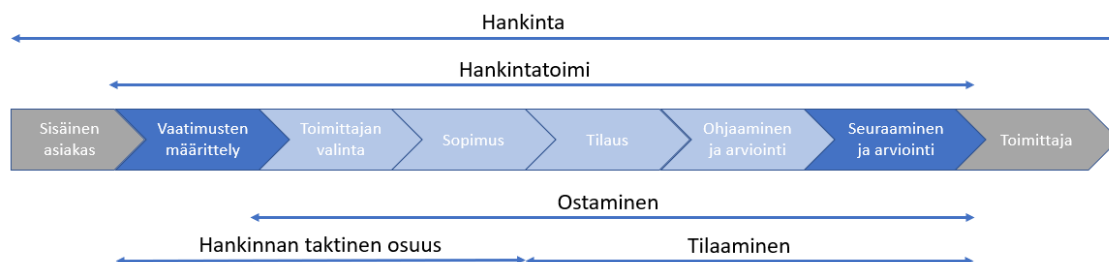
**Taulukko 3.** *Reaktiivinen ja proaktiivinen ote hankintaan (Baily et al. 2005 ja Iloranta & Pajunen-Muhonen 2015 mukaillen)*

Reaktiivinen hankinta	Proaktiivinen hankinta
Hankinta on kustannusyksikkö.	Hankinta voi tuottaa lisäarvoa.
Hankinta vastaanottaa spesifikaatiot.	Hankinta (ja toimittajat) osallistuvat spesifikaatioon.
Hankinta hylkää kelpaamattomat hyödykkeet.	Hankinta välttää kelpaamattomia hyödykkeitä.
Hankinta raportoi taloushallinnolle tai tuotannolle.	Hankinta raportoi ylimmälle johdolle.
Hankinta on tukitoiminto.	Hankinta on yksi yrityksen päätoiminnoista.
Hankinta reagoi markkinamuutoksiin.	Hankinta osallistuu markkinoiden luontiin.
Ongelmat ovat toimittajien vastuulla.	Vastuu ongelmista jaetaan.
Hinta on tärkein muuttuja.	Kokonaiskustannus ja -arvo ovat avainmuuttujia.
Hankinnan suunnitteluhorisontti on tässä päivässä.	Hankinnan suunnitteluhorisontti nojaa yrityksen strategiaan.
Suuri määrä toimittajia korreloi saatavuutta.	Suuri määrä toimittajia tarkoittaa menetettyjä mahdollisuuksia.
Suuret varastot korreloivat varmuutta.	Suuret varastot tarkoittavat hukkaa.
Informaatio tarkoittaa neuvotteluvoimaa.	Jaettu informaatio luo arvoa.
Toimittajien kanssa tehty yhteistyö on löyhää.	Toimittajien kanssa tehdään tiivistä yhteistyötä.
Hankinta on itsenäinen funktio.	Hankinta tekee tiivistä yhteistyötä muiden funktioiden kanssa.

Olennaista hankintatoimen proaktiivisessa oteessa on hankinnan integrointi tiiviisti yrityksen muiden funktioiden kanssa, tiiviiden toimittajasuhteiden kehittäminen sekä arvonluontiin keskittyminen. Tiivis yhteistyö yrityksen sisällä vähentää sisäisten rajapintojen välisiä kuiluja. Tiivis yhteistyö toimittajien kanssa hyödyttää molempia osapuolia, se auttaa vähentämään hukkaa sekä pienentämään molempien osapuolien riskejä (Iloranta & Pajunen-Muhonen, 2015).

### 2.3.4 Hankintaprosessi

Hankintatoimi on perinteisesti käsittänyt ostamisen ja kaikki siihen liittyvät aktiviteetit, kuten tarpeen määrittämisen, toimittajien etsimisen ja valitsemisen, hintaneuvottelut, ostosopimuksen ehtojen sopimisen, tilauksen tekemisen ja toimituksen seurannan. Hankintaprosessia ja hankintaan liittyviä käsitteitä on kuvattu kuvassa 24.



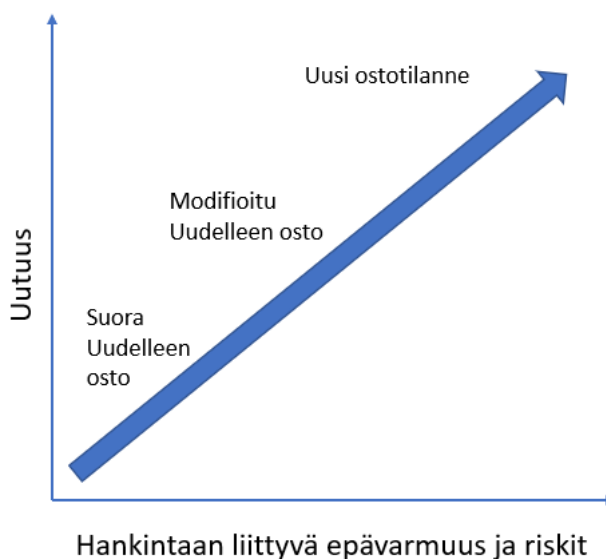
**Kuva 24.** *Hankintaprosessi ja hankintaan liittyvät termit (van der Puil & van Weele 2014 mukaillen)*

Ostotilanteesta riippuen osa hankintaprosessin vaiheista voi olla hyvinkin aikaa vieviä ja osa taas implisiittisiä. Alla olevaan listaan on tunnistettu kolme erilaista ostotilannetta:

1. Uusi ostotilanne
2. Modifioitu uusintaosto
3. Suora uusintaosto.

Uusi ostotilanne koskee tilannetta, jossa sekä ostettava tuote tai palvelu että toimittaja ovat uusia. Tämän kaltainen tilanne sisältää suuren määrän epävarmuutta ja siten riski hankinnan onnistumiselle on suuri. Uusi ostotilanne vaatii yleensä hankintaprosessin kaikkien vaiheiden läpikäymistä. Usein kuvatun kaltainen uusi tilanne syntyy esimerkiksi isojen investointien yhteydessä, jolloin jotain hankitaan tilaajan spesifikaatioiden mukaisesti. Uusi tilanne voi syntyä esimerkiksi risteilyaluksien, laitoksien tai tuotantolinjojen hankinnassa. Uusi hankintatilanne on usein monimutkainen ja se voi sisältää paljon rajapintoja sekä yrityksen sisällä että sidosryhmienkin kanssa. Uuteen ostotilanteeseen liittyvä päätöksentekoprosessi on tyypillisesti pitkä johtuen usealle organisaatotasolle ulottuvasta ongelmanratkaisusta (Johnsen, Howard, & Miemczyk, 2014, s.33-34; van Weele, 2010).

Modifioitu uusintaosto on tilanne, jossa tilaaja haluaa ostaa tutulta toimittajalta uuden tuotteen tai palvelun, tai jos tilaaja haluaa hankkia tutun tuotteen eri toimittajalta. Kolmas tilanne, eli suora uusintaosto on tilanne, jossa tilaaja ostaa tutun tuotteen tutulta toimittajalta. Tällainen tilanne voi koskea esimerkiksi kulutushyödykkeiden hankintaa. Suora uusintaosto sisältää esitellyistä tilanteista vähiten epävarmuutta. Edellä mainittuja ostotilanteita on havainnollistettu kuvassa 25 (Johnsen et al., 2014, s.33-34; van Weele, 2010).



*Kuva 25. Ostotilanteet (Johnsen et al. 2014, s. 34 mukailleen)*

### 2.3.5 Räätelöinnin vaikutus hankintaan

Engineer-to-order (ETO) on tuotantomalli, jossa tuotteet tai palvelut tuotetaan tilauksesta pitkälti kustomoituna tai jopa täysin asiakkaan spesifikaatioiden mukaisesti. Tällaiset tuotteet tai palvelut ovat yleensä ainutkertaisia ja hyvin monimutkaisia. ETO-tuotteita tehdään tyypillisesti projekteina. ETO-projektit ovat lisäksi usein ajallisia pitkiä, sillä ne sisältävät kaiken aina suunnittelusta valmistukseen ja kokoonpanoon saakka. Myös kaikki ETO-projektiin liittyvät hankinnat tehdään usein asiakkaan spesifikaatioiden mukaisesti. ETO-projekteille ominaista on jatkuva dialogi asiakkaan ja toimittajan välillä sopimuksen solmimisen jälkeen. Jatkuva dialogi yleensä johtaa muutoksiin tuotteen spesifikaatioissa suunnittelun aikana ja vielä pitkään suunnittelun valmistumisen jälkeenkin. Muutokset tarkoittavat lisätyötä uudelleensuunnittelun tai -valmistuksen myötä ja lisätyö yleensä johtaa lisäkustannuksiin. Edellä kuvatun kaltainen joustavuus on hyvä asiakkaan kannalta, mutta toimittajalle se on suuri epävarmuuden lähde teknisissä lähtötiedoissa. Epävarmuus lähtötiedoissa puolestaan aiheuttaa epävarmuutta koko projektin verkostolle aiheuttaen jatkuvaa mukautumista suunnittelussa, hankinnassa ja tuotannossa (Cohen & Roussel, 2004; Vaagen et al., 2017; van Weele, 2010).

Weng et al. (2014) lisäävät, että ETO-projekteissa lähtötiedoista sopiminen voi olla hidas prosessi ja kestää jopa kuukausia, minkä takia ostajan ja myyjän välinen sopimus täytyy usein tehdä ennen lähtötietojen täydellistä lukitsemista. Lähtötietojen lukitsemattomuus voi myöhemmin johtaa edellä kuvatun kaltaisiin muutoksiin ja siten toimittajan osalta taloudellisiin menetyksiin. Siksi asiakkaan vaatimusten ja toimintaympäristön ymmärtäminen on tärkeää. Epäselvät lähtötiedot kasvattavat toimittajan kokemaa riskiä, mikä puolestaan heijastuu suoraan tarjottavan kokonaisuuden hintaan riskivaroina. Ris-

kivaroilla varaudutaan epävarmuuden mukanaan tuomiin tunnistettuihin sekä tuntemattomiin riskeihin (Dobson & Singer, 2011; Weng et al., 2014).

Hicks et al. (2000) on tunnistanut kolme vuorovaikutusvaihetta ETO-toimittajien ja heidän asiakkaidensa välillä. Ensimmäinen vaihe on markkinointi, joka tarjoaa ETO-toimittajille mahdollisuuden tunnistaa trendejä, teknisiä ja ei-teknisiä asiakasvaatimuksia sekä asiakkaiden kriteerejä kilpailukykyisille tarjouksille. Toinen vaihe on tarjousvaihe, jossa halutusta tuotteesta luodaan alustava konseptisuunnittelu ja määritetään ylä-tason komponentit ja järjestelmät. Toinen vaihe suoritetaan asiakkaan antamien lähtötietojen perusteella, joita ovat esimerkiksi tekniset spesifikaatiot, aikataulu ja kaupalliset ehdot. Toinen vaihe määrittää noin 75–80 % projektin kaikista kustannuksista. Kolmas vaihe alkaa sopimuksen solmimisen jälkeen ja käsittää ei-fyysisiä prosesseja kuten suunnittelua, sekä fyysisiä prosesseja kuten valmistusta, kokoonpanoa ja käyttöönottoa (Hicks et al., 2000).

### 2.3.6 Hankintaspesifikaatio ja vaatimukset

Tärkeä osa hankintaprosessia on toimittaa toimittajaehdokkaille riittävät lähtötiedot eli hankintaspesifikaatiot. Hankintaspesifikaatiot sisältävät kuvauksen siitä mitä halutaan hankkia ja minkälaisia vaatimuksia hankittavaan artikkeliin kohdistuu. Spesifikaatiot siis asettavat referenssipisteen, johon hankinnan lopputulosta voidaan verrata. Hankintaspesifikaatiot koostuvat monesti useasta erillisestä dokumentista, jotka sisältävät esimerkiksi toimituslaajuuden, tekniset ja toiminnalliset vaatimukset, laatu- ja johtamisjärjestelmän vaatimukset, toimitusehdot sekä kaupalliset ehdot. Hankintaspesifikaation tehtävänä on estää väärinkäsitysten syntyminen hankinnan myöhemmissä vaiheissa. (Johnsen et al., 2014; van Weele, 2010).

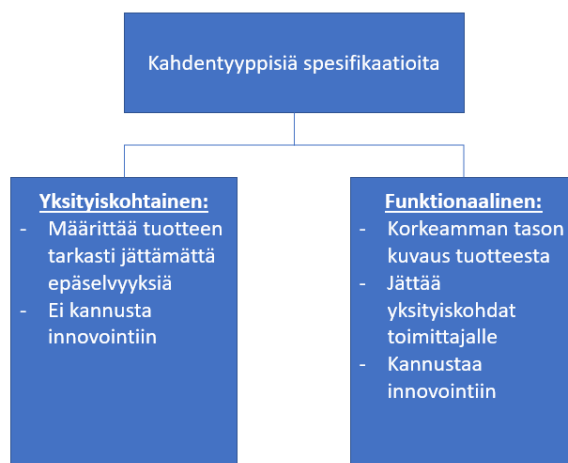
Iloranta & Pajunen-Muhonen (2015) mukaan huono tarjouspyyntö tekee hyvän tarjouksen saamisen mahdottomaksi. Liian avoin tarjouspyyntö voi tuottaa toisistaan hyvin poikkeavia tarjouksia. Tarkasti rajattu tarjouspyyntö voi minimoida toimittavan laajuuden väärinymmärryksen mahdollisuutta, mutta toisaalta liian rajattu tarjouspyyntö voi johtaa menetettyihin mahdollisuuksiin. Huolimattomasti koottu tarjouspyyntö johtaa usein huonoon lopputulokseen. Huono lopputulos voi myös johtua siitä, ettei tilaaja tiedä mitä haluaa eikä todellisesta tarpeesta ole tarpeeksi kattavaa käsitystä. Jos toimittaja joutuu tarjoamaan toimituksen rajoitetuin tai puutteellisin tiedoin, voi tarjousten yhteismitallinen vertailu olla vaikeaa. Tällaisessa tapauksessa toimittajan tarjoukseen kirjaamat hinnat todennäköisesti sisältävät epävarmuudesta johtuvaa riskilisää. (Iloranta & Pajunen-Muhonen, 2015; Johnsen et al., 2014).

Johnsen et al. (2014) mukaan yleisesti ottaen on tarpeellista väärinkäsitysten välttämiseksi toimittaa toimittajaehdokkaille riittävän yksityiskohtaiset spesifikaatiot tarjouspyynnön kohteena olevasta artikkelista. Väärinkäsityksiä syntyy usein varsinkin ulko- maisten toimittajien kanssa johtuen esimerkiksi kielellisistä ongelmista ja kulttuuripe-

räisistä eroista. Väärinkäsityksen riski on olemassa erityisesti tapauksissa, joissa kumpikaan osapuoli ei osallistu kommunikointiin omalla äidinkielellään. Vieraan kielen käännöksissä ja tulkinnoissa saatetaan tehdä ristikkäisiä tulkintoja.

Ward (2008) mukaan hankintaspesifikaatiot voidaan jakaa kahteen osaan: yleiset spesifikaatiot ja tuotekohtaiset spesifikaatiot. Johnsen et al. (2014) kutsuu yleisiä spesifikaatioita toimittajavaatimuksiksi ja tuotekohtaisia spesifikaatioita spesifikaatioiksi. Yleiset spesifikaatiot sisältävät yleispäteviä vaatimuksia, jotka pätevät riippumatta siitä mitä tuotetta ollaan ostamassa. Tällaisia vaatimuksia voivat olla esimerkiksi johtamisjärjestelmään ja ympäristöön liittyvät standardit sekä konedirektiivi. Tuotekohtaiset spesifikaatiot sisältävät hankittavaan tuotteeseen liittyviä eksakteja vaatimuksia, liittyen esimerkiksi käytettäviin materiaaleihin, dimensioihin ja suunnitteluperusteisiin. Eri spesifikaatioiden keskinäinen järjestys on myös hyvä määritellä epäselvyyksien välttämiseksi. Ward (2008) myös korostaa spesifikaatioiden iteroinnin tärkeyttä; yksi projektien onnistumisen edellytyksiä on ottaa loppukäyttäjää mukaan tarpeeksi aikaisessa vaiheessa. Sama periaate pätee myös spesifikaatioihin; spesifikaatioita tulisi voida iteroida, ratkaista niihin liittyviä ongelmia ja täydentää niihin liittyviä puutteita niiden käyttäjien kanssa (Johnsen et al., 2014; Ward, 2008).

Johnsen et al. (2014) mukaan tuotekohtainen tekninen spesifikaatio voidaan laatia kahdella tapaa: yksityiskohtaisesti tai funktionaalisesti. Tätä kahtiajakoa on havainnollistettu kuvassa 26.



**Kuva 26.** Yksityiskohtaiset ja funktionaaliset spesifikaatiot (Johnsen et al. 2014 s.36 mukaillen)

Erittäin yksityiskohtaisen spesifikaation kirjoittaminen saattaa minimoida väärinkäsityksen mahdollisuutta, mutta toisaalta liian yksityiskohtainen spesifikaatio ei jätä toimittajaehdokkaille liikkumavaraa ja siten vähentää merkittävästi potentiaalisten toimittajien määrää. Toimittajaehdokkaiden pieni lukumäärä taas vähentää kilpailua, millä on hintaan nähden kasvattava vaikutus. Joissakin tapauksissa spesifikaatioita on myös saatettu kirjoittaa jokin tietty toimittaja mielessä, jolloin spesifikaatioilla on vaara yksilöi-



tyä liiaksi johonkin tietynlaiseen ratkaisuun. Tämä niin ikään saattaa vaikuttaa negatiivisesti potentiaalisten toimittajien lukumäärään. Spesifikaatioiden kirjoittamisessa onkin tärkeää löytää sopiva tasapaino vaatimusten ja kilpailun välille (Johnsen et al., 2014, s. 35-37).

Joissakin tapauksissa ostavan yrityksen voi olla vaikeaa määritellä hankittavaa tuotetta/palvelua, jos siltä puuttuu riittävä ymmärrys omista tarpeistaan. Ostavalla yrityksellä saattaa kuitenkin olla tieto siitä, minkälaisen toiminnon se haluaa ostettavan artikkelin toteuttavan, mutta riittävän tietotason puuttuessa sitä ei osata spesifioida. Tällaisessa tapauksessa voidaan hankittavasta tuotteesta laatia funktionaalinen spesifikaatio, jolla ostavan yrityksen tarpeelle määritetään kuvaus ja reunaehdot, mutta jätetään toimittajalle vapaus täyttää tarve omaa ydinosaamistaan hyödyntäen. Funktionaalinen spesifikaatio nojaa siihen olettamukseen, että toimittajalla on käytössään ostajaa paremmat tiedot ja ymmärrys, ja siten parempi kyky päättää miten asiakkaan tarve on parhaiten täytettävissä. Funktionaalinen spesifikaatio kannustaa toimittajaa innovoimaan ja olemaan aloitteellinen, kun taas yksityiskohtainen spesifikaatio saattaa sitoa toimittajan kädet ja vähentää innovointia (Johnsen et al., 2014, s. 35-37).

Hankintatoimen tulisi näytellä isoa roolia hankintaspesifikaatioita määriteltäessä ja toimittajille kommunikoitaessa. Todellisuudessa usein kuitenkin käy niin, että yrityksen muut toiminnot - kuten esimerkiksi suunnittelu - ottavat spesifikaatioiden laadinnasta vetovastuun. Kun vetovastuu spesifioinnista on muualla kuin hankintatoimessa on vaarana, että tuotteen tekniset ratkaisut valitaan ottamatta huomioon niiden hankkimiseen tarvittavia toimitusketjuja. (Johnsen et al., 2014, s. 35-37)

### 3. MENETELMÄ JA AINEISTO

Tässä kappaleessa esitellään työssä käytetty tutkimusstrategia sekä hyödynnetyt tutkimusmenetelmät, tutkimusaineisto sekä analysointiin käytetyt menetelmät. Ensimmäisessä kappaleessa esitellään tutkimuksen strategiaa sekä valitut tutkimusmenetelmät. Luvun toinen ja kolmas kappale käsittelevät tutkimuksen prosessia, tutkimukseen liittynyttä tiedonkeruuta sekä sen analysointia.

#### 3.1 Tutkimusstrategia ja -menetelmät

Tutkimuksen empiirinen osuus suoritettiin käyttämällä laadullisen tutkimuksen menetelmiä; haastatteluja, havainnointia sekä valmista dokumentaatiota. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa tutkimuksen aihepiiriä pyritään tarkastelemaan mahdollisimman kokonaisvaltaisesti ottaen huomioon asioiden keskinäiset suhteet. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa tiedonhankinta tulee olla mahdollisimman luonnollista, kokonaisvaltaista sekä todellisista tilanteista koottua. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa ei ole tarkoitus testata teorioita tai hypoteeseja, vaan pikemminkin tarkastella aineistoa yksityiskohtaisesti. Yksityiskohtaisen tarkastelun tavoite on paljastaa piileviä ja odottamattomia seikkoja tutkitavasta aiheesta. Laadullisen tutkimuksen hypoteesittomuus antaa tutkijalle mahdollisuuden lähteä liikkeelle puhtaalta pöydältä ilman ohjaavia ennakko-olettamuksia. Näin ollen yhtenä laadullisen tutkimuksen tavoitteena onkin tutkijan oppiminen tutkimuksen edetessä; tutkija voi tutkimuksen aikana löytää uusia näkökulmia ja siten laajentaa omaa ymmärrystään tutkitavasta aiheesta. Kvalitatiiviselle tutkimukselle on ominaista tutkimuksen avoin ote, joka usein johtaa tutkimuksen eri vaiheiden, kuten aineistonkeruun, analyysin ja tulkinnan lomittumiseen. Tutkimukselle eri vaiheiden lomittuminen on luonnollista, sillä laadullisessa tutkimuksessa tulkinta jalostuu koko tutkimuksen ajan. Tästä johtuen myös tutkimussuunnitelmaa ja tutkimuskysymyksiä voidaan joutua tarkastelemaan useampaan otteeseen tutkimuksen aikana (Eskola & Suoranta, 2000; Hirsjärvi et al., 2009).

Tutkimus suoritettiin tapaus- eli case-tutkimuksena (*case study*). Tapaustutkimus valittiin tutkimusstrategiaksi, koska se soveltuu hyvin tilanteisiin joissa tutkittava aihe tai ilmiö on vaikeasti lähestyttävissä ja tutkittavissa sen luonnollisen ympäristön ulkopuolelta (Ghauri & Grønhaug, 2010). Tutkimuksen aihe ja siihen liittyvä toimintaympäristö täyttävät nämä ehdot. Lisäksi tapaustutkimuksen valintaa tukee se, että tapaustutkimuksessa tutkijan tulisi olla jatkuvassa vuorovaikutuksessa tutkimuksen kohteen kanssa. Tämän tutkimuksen kohde on kohdeyritys, sen henkilöstö, prosessit ja dokumentaatio.

Tapaustutkimus sisältää konventionaalisesti ajatellen neljä vaihetta: tutustuminen, suunnittelu, johtopäätösten tekeminen sekä tutkimuksen tuloksien arviointi. Tutkimuksen alussa tutkija voi usein ajelehtia aiheen ympärillä. Tutustumisvaiheen tarkoituksena onkin tutustuttaa tutkija yleisluontoisesti tutkittavaan aiheeseen, siihen liittyviin käsitteisiin ja termeihin. Lisäksi vaiheen aikana on tarkoitus saada käsitys tutkittavaan aiheeseen liittyvistä tutkimuskysymyksistä. Suunnitteluvaiheen aikana käytettävät tutkimusmenetelmät määritellään tutkimuksen suorittamista varten, sekä kartoitetaan tutkimuksen tavoitteet ja rajoitteet. Lisäksi suunnitteluvaiheen aikana määritellään ne pakolliset aihekokonaisuudet, joita tutkimuksessa täytyy käsitellä. Johtopäätösaiheeseen mennessä tutkija on perehtynyt tutkittavaan aiheeseen niin syvällisesti, että pystyy alustavasti selittämään tutkittavaa ongelmaa sekä antamaan siihen liittyviä suosituksia. Lisäksi tässä vaiheessa saatetaan huomata, että osa havaituista yleistyksistä eivät olekaan niin yleisiä, vaan pikemminkin voimassa vain tietynlaisessa kontekstissa, kuten esimerkiksi teollisuuden alalla tai yksittäisessä yrityksessä. Viimeisessä, eli tulosten analysointivaiheessa analysoidaan tehtyä tutkimusta ja siihen liittyvien tuloksien luotettavuutta, rajoitteita ja yleistettävyyttä. Lisäksi viimeisessä vaiheessa voidaan ehdottaa tutkittavaan aiheeseen liittyviä jatkotutkimusehdotuksia, joita edelleen tutkimalla tutkimukseen liittyvien rajoitteiden vaikutusta tutkimuksen luotettavuuteen voitaisiin selvittää tarkemmin (Ghuri & Grønhaug, 2010, s.111-112). Tapaustutkimusta voi tehdä monella tapaa eikä sille siksi ole olemassa yksiselitteistä määritelmää. Tästä syystä tapaustutkimuksen prosessi on syytä tehdä näkyväksi (Aaltola & Valli, 2007, s. 185-186).

### 3.2 Toteutus ja aineisto

Tässä työssä tutkimusongelmia on lähestytty sekä teoreettisen että empiirisen tutkimuksen kautta. Työtä varten tunnistettiin kolme aihealuetta, joiden avulla työn teoreettinen viitekehys on rakennettu. Tunnistetut aihealueet ovat ydinturvallisuus, vaatimustenhallinta sekä hankinta. Työn teoriaosuus on koottu kokonaisuudessaan luvun 2 alle, joka jakautuu edellä mainittujen aihealueiden mukaisesti kolmeen alalukuun. Työn empiirinen osuus koostuu kirjoittajan tekemistä havainnoista kohdeyrityksessä päivätyönsä ohessa. Empiirisen tutkimuksen osuus on koottu luvun 4 alle.

Kohdeyrityksessä vaatimustenhallinnan menetelmiä on kehitetty yrityksen henkilöstön ja konsulttien toimesta jo useiden vuosien aikana. Menetelmät ovat soveltuneet yrityksen käyttöön tähän asti hyvin yrityksen rakentaessa tulevan ydinlaitoksen suunnitteluperusteita ja tuotantoprosessia. Kaikki tähänastinen materiaali on ollut tämän tutkimuksen käytössä ja sitä on pyritty hyödyntämään tarkoituksenmukaisesti. Tutkimuksen aluksi kohdeyrityksen edustajilta saatiin linjauksia tutkimuksen aiheeseen liittyen. Muutoin tutkimus suoritettiin itsenäisesti työn ohessa.

Tutkimuksen teoreettista osuutta varten aineistoa kerättiin tutkimuksen pääaihealueiden osalta mahdollisimman laaja-alaisesti sekä perusteosten että aihealuetta käsittelevien teollisten artikkeleiden parista. Tutkimuksen edetessä sekä tutkimuskysymysten ja tut-

kimuksen rajauksen jalostuessa aineistoa karsittiin tarkoituksenmukaisesti vastaamaan paremmin tarkentunutta laajuutta. Teoreettisen tarkastelun yhteydessä aineistosta pysytettiin keräämään muilla teollisuuden aloilla sekä muissa tutkimuksissa hyväksi todettuja käytäntöjä sekä tunnistettuja ongelmia tukemaan työn lopputuloksena syntyviä työkaluja. Kokemusperäinen tieto auttaa kohdeyritystä välttämään sellaisia sudenkuoppia, jotka eivät ole olleet vielä ilmeisiä, vaan ne olisivat ehkä tulleet eteen myöhemmin järjestelmähankintojen edetessä.

Työn empiiristä aineistoa kerättiin kohdeyrityksessä kirjoittajan päivätyön ohessa. Empirian pääkeinona käytettiin osallistuvaa havainnointia. Hirsjärvi et al. (2009) mukaan havainnoinnin suurimpana etuna voidaan pitää sen välittömyyttä ja kykyä saada ensikäden tietoa ryhmien ja organisaatioiden toiminnasta. Välittömyytensä ansiosta se sopii hyvin laadullisen tutkimuksen menetelmäksi. Havaintoja tehtiin kokousten yhteydessä, keskusteluissa organisaation eri jäsenten ja konsulttien kanssa, kohdeyrityksen dokumentaatiosta sekä kanssakäymisestä järjestelmätoimittajien. Lisäksi tutkimuksen ohessa osallistuttiin Projektiyhdistyksen järjestämään Ydinprojekti-seminaariin sekä ekskursionalla Valtion teknillisen tutkimuslaitoksen (VTT) Ydinturvallisuustaloon. Tehtyjen havaintojen tueksi tutkimuksessa suoritettiin puoliavoimia haastatteluita kohdeyrityksen avainhenkilöiden kanssa. Haastattelut tehtiin yksilöhaastatteluina ja kysymykset laadittiin tehtyjen havaintojen perusteella.

Tutkimuksessa käytettiin aineiston käsittelyssä hyväksi tematisointia. Eskolan ja Suorannan (2000) mukaan tematisointi on usein ensimmäinen tapa lähestyä tutkimusaineistoa. Aineistosta voidaan tematisoinnin avulla nostaa esiin tutkimusongelmaan liittyviä teemoja ja luokitella aineistoa näiden teemojen mukaisesti. Tematisoinnin avulla tutkimusaineistosta pyritään löytämään ja sen jälkeen erottelemaan tutkimusongelman kanalta olennaisimmat aiheet. Tematisoinnin avulla tutkimusongelmasta pyritään luomaan mahdollisimman laaja ymmärrys vertailemalla eri lähteiden sisältöjä kuhunkin aiheeseen liittyen. Onnistuakseen tematisointi on tehtävä teorian ja empirian vuorovaikutuksessa. Tematisointi onkin suositeltava analysointitapa käytännöllisen ongelman ratkaisussa (Eskola & Suoranta, 2000, s.174-179).

Tässä tutkimuksessa tematisoinnin avulla tunnistetut pääteemat ovat kappaleen 2 aliotikoiden mukaisia aihekokonaisuuksia. Tematisointi suoritettiin taulukointia ja hakemistorakenteita hyväksikäyttäen. Lisäksi kirjalliset lähteet kirjattiin ja niitä ylläpidettiin Mendeley-viitteidenhallintatyökalun avulla. Laadullisessa tutkimuksessa on vaarana loputon tutkimusaineisto ja sen myötä tutkimuksen paisuminen; runsas määrä lähteitä auttaa kuvaamaan aineistoa laajalti mutta samalla tutkimuksen raportista voi tulla liian raskas luettavaksi (Eskola & Suoranta, 2000, s.179-180).

Työssä perehdyttiin ydinturvallisuuden osalta suomalaiseen lainsäädäntöön ja viranomaisten asettamiin vaatimuksiin kontekstin luomiseksi tutkimukselle sekä kansallisten ydinlaitosrakentamiseen liittyvien erityispiirteiden hahmottamiseksi. Vaatimusten osalta

tarkoitus oli luoda vahva pohja ja ymmärrys turvallisuusperusteisille vaatimuksille ja korostaa niiden merkitystä ja tärkeyttä suomalaisessa ydinlaitosrakentamisessa. Lisäksi tavoitteena oli luoda ymmärrys suomalaisen ydinlainsäädännön erityispiirteistä (tutkimuskysymys 2a).

Vaatimustenhallinnan osalta työssä pureuduttiin vaatimustenhallinnan periaatteisiin yrittäen samalla kartoittaa vaatimustenhallinnan hyviä käytäntöjä ja toisaalta yleisesti tunnistettuja ongelmia (tutkimuskysymys 1b). Vaatimustenhallintaan liittyvä kirjallisuus pohjautuu hyvin pitkälti ohjelmistoteollisuuden käyttöön luoduista käytännöistä, jotka ovat kuitenkin lähes sellaisenaan hyödynnettävissä myös muilla teollisuuden aloilla. Osana vaatimustenhallintaa työssä selvitettiin mikä on vaatimusmäärittely, mikä vaatimusmäärittelyn prosessi on ja mitkä ovat sen rajapinnat (tutkimuskysymys 1a ja 2b). Vaatimustenhallinnan osuudessa muutama perusteos toimi teoreettisen tutkimuksen tukena ja viitekehyksen perustana.

Kolmantena osa-alueena työssä tutkittiin hankintatoimea ja tarkemmin ottaen hankintaa ETO-tyyppisissä räätälöidyissä projekteissa. Tavoitteena oli selvittää, millainen hankintaprosessi on ja mihin hankintaprosessin vaiheita vaatimusmäärittelyihin liittyvät puutteen koskevat (tutkimuskysymykset 1c ja 1d).

## 4. SUOSITUKSET VAATIMUSTENHALLINNAN JA HANKINNAN KÄYTÄNTÖIHIN KOHDEYRITYKSESSÄ

Tässä luvussa esitellään sekä teoreettisen että empiirisen aineiston tutkimuksen pohjalta laaditut tutkimuksen tulokset. Luvussa esitellään analysointia kohdeyrityksen vaatimustenhallintaan liittyvistä kipukohdista erityisesti järjestelmähankintoja silmällä pitäen. Lisäksi luvussa esitellään kohdeyritykselle laaditut suositukset järjestelmähankintojen vaatimustenhallintaan liittyen. Luvussa esitellään myös kohdeyritykselle esimerkinomaiseksi kehitetty, taulukkomuotoinen vaatimusten seuranta taulukko, jonka avulla vaatimusten jäljitettävyyttä ja hallintaa voitaisiin parantaa etenkin järjestelmähankinnoissa. Viimeiseksi tässä luvussa esitellään vaatimusmäärittelyn laadintaa varten kehitetty muistilista asioista, jotka huomioon ottamalla vaatimusmäärittelyiden tasalaatuisuutta on jatkossa mahdollista edesauttaa.

### 4.1 Nykytilanne yrityksen vaatimustenhallinnassa ja siihen liittyvissä käytännöissä

Kohdeyrityksellä on olemassa vaatimustenhallintamenettelyt (VAHA), jotka on dokumentoitu ja tallennettu yrityksen sisäiseen tiedonhallintajärjestelmään. Yrityksen vaatimustenhallintamenettelyt ovat syntyneet usean kehitysprojektin tuloksena, joista viimeisin kehitysprojekti on toteutettu vuonna 2013. Vaatimustenhallintamenettelyiden lisäksi yrityksellä on käytössään tietokantapohjainen DOORS-vaatimustenhallintajärjestelmä, jolla hallitaan vaatimuksia, vaatimusten välisiä linkityksiä sekä vaatimuksiin liittyvää informaatiota. Yrityksen VAHA-menettelyohjeissa on periaatteellisella tasolla kuvattu yrityksessä käytettävät vaatimusmäärittely-, vaatimustenhallinta- ja vaatimusten muutostenhallintaprosessit.

Yrityksen vaatimustenhallinta on VAHA-menettelyohjeissa sidottu muutostyökokousten avulla osaksi yrityksen konfiguraationhallintaa konfiguraatioiden eheyden ja systemaattisuuden varmistamiseksi. Konfiguraatioilla tarkoitetaan laitoksen tai sen järjestelmien teknistä kokoonpanoa jonain ajan hetkenä.

Konfiguraatioita hallitaan kohdeyrityksessä konfiguraatioyksiköiden avulla. Konfiguraatioyksiköt voivat olla suuria tai pieniä, riippuen kulloinkin kyseessä olevasta konfiguraation hallintatarpeesta. Konfiguraatioyksiköllä tarkoitetaan suunniteltua, puolivalmistaa tai valmista tuotetta, jota tarkastellaan yksittäisenä kokonaisuutena konfiguraationhallinnassa. Laitos on suurin käytettävissä oleva konfiguraatioyksikkö, jota tarvitaan

esimerkiksi silloin, kun koko laitoksen konfiguraatio tulee olla määritettävissä jonain tiettyinä ajan hetkenä. Tällainen ajanhetki voi esimerkiksi olla jokin ydinenergialain määräämistä luvista, kuten esimerkiksi rakentamis- tai käyttölupa. On myös mahdollista käyttää useampaa pientä konfiguraatioyksikköä silloin kun laitostekninen kokonaisuus on tarkoituksenmukaista jakaa pienempiin osiin. Esimerkiksi järjestelmäsuunnittelun aikana on järkevää hallita konfiguraatioita järjestelmätasolla.

Yrityksen ydinlaitosprojekti on jaettu viiteen elinkaaren vaiheeseen. Elinkaaren vaiheet jakautuvat edelleen kronologisiin konfiguraation perusvaiheisiin. Elinkaaren vaiheet ja konfiguraation perusvaiheet on esitelty kuvassa 27. Ydinlaitosprojektin pitkistä kalenteriajallisesta kestosta johtuen yrityksen konfiguraationhallintasuunnitelma kattaa tällä hetkellä vain elinkaaren neljä ensimmäistä vaihetta ydinlaitoksen käyttöönottoon saakka. Suunnitelmasta puuttuva viides vaihe on kuvassa 27 merkitty harmaalla. Yrityksen prosessin mukaan jokaisen perusvaiheen alussa on lähtötietomäärittely ja lopussa katselmointi sekä teknisen aineiston jäädyttäminen. Lähtötietomäärittelyssä tarkastetaan edellisen vaiheen jäädytetty aineisto. Lähtötietomäärittely toimii perustana (baseline) seuraavan vaiheen muutostenhallinnalle. Lähtötietomäärittelyjen tulisi sisältää kaikki olennainen informaatio, kuten vaatimukset ja jäädytetyt lähtötiedot. Konfiguraation baseline dokumentoidaan konfiguraatiotaulukkoon, jossa ylläpidetään kuhunkin konfiguraatioon liittyviä versiotietoja niihin liittyvistä dokumenteista ja dokumentteihin liittyvistä muutoksista. Konfiguraatiotaulukko täytetään jokaiselle konfiguraatioyksikölle.

Elinkaaren vaihe		Konfiguraation perusvaihe	
0	Esi- ja perussuunnittelu	-2	Periaatepäätöshakemus
		-1	Esiluvitusvaihe
		0	Rakentamislupavaihe
		1	Vaatimusmäärittely
		1A	Perussuunnittelu
1	Toteutus	2	Rakennesuunnitelmat
		3	Valmistus ja rakentaminen
		4	Asentaminen
2	Käyttöönotto	5	Käyttöönotto
		6	
		7	
3	Käyttö	8	Käyttö
4	Sulkeminen ja käytöstäpoisto		

**Kuva 27.** Kohdeyrityksen konfiguraationhallintaan liittyvät vaiheistukset.

Kohdeyrityksen ydinlaitosprojekti on tätä työtä kirjoitettaessa konfiguraation perusvaiheessa 1A, joka on siirtymävaihe elinkaaren vaiheiden 0 ja 1 välillä. Yrityksen konfiguraatiosuunnitelman mukaan 1A vaiheen baselinen tulisi sisältää vaiheen 1 lopussa jäädytetyt vaatimusmäärittelydokumentit ja järjestelmäkuvaukset. Nämä dokumentit tulisi myös olla hyväksyttyinä STUK:n toimesta, jonka antama palaute tulee huomioitua dokumenteissa.

Yrityksen vaatimusten määrittely- ja hallintaprosessi on jaettu neljään osaprosessiin:

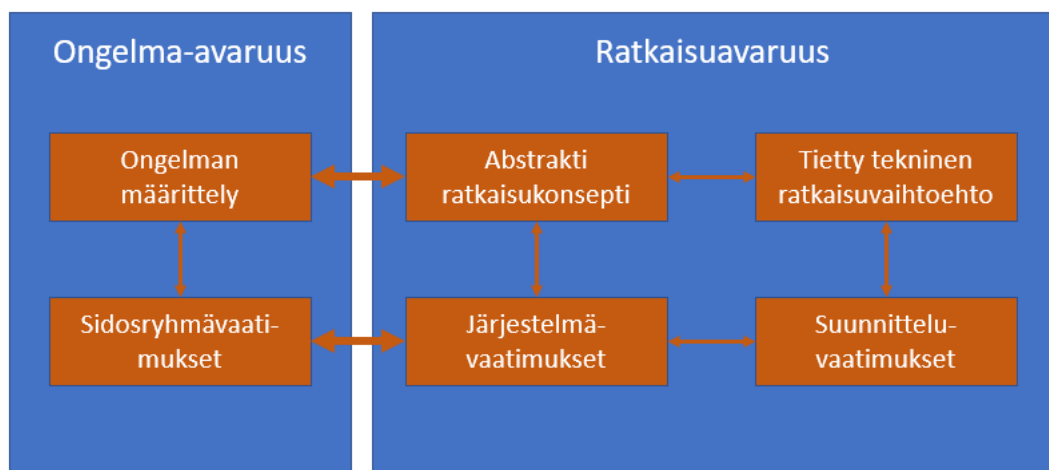
*Vaatimusten määrittely*, joka kattaa vaatimusten keräämisen eri lähteistä, analysoinnin, kirjaamisen ja liittynnän vaatimusten hallintaprosessiin. Vaatimusten määrittelyn jälkeen vaatimuksia ylläpidetään vaatimustenhallintaprosessissa

*Vaatimustenhallinta*, joka kattaa järjestelmän käyttöoikeuksien hallinnan, raportoinnin hallinnan, liittynnän vaatimusten muutoshallintaan, vaatimusten välisten linkitysten hallinnan sekä moduulien versioinnin.

*Vaatimusten muutostenhallinta*, joka kattaa varsinaisen vaatimusten muutoshallinnan ja siihen liittyvät katselmointi-, arviointi- ja hyväksyntäkäytännöt.

*Todentaminen ja kelpuutus*, joka kattaa vaatimusten muutoshallinnan ja siihen liittyvät katselmointi-, arviointi- ja hyväksyntäkäytännöt.

Yrityksen laitosjärjestelmien vaatimusten rakenne koostuu kahdesta abstraktiotasosta, joita on havainnollistettu kuvassa 28. Kuvassa esitetty ongelma-avaruus koostuu sidosryhmien tarpeesta ja esittää reunaehdot ongelmanasettelulle. Ratkaisuvapaus käsittää yleisen tason, abstraktin konseptiratkaisun sekä tietyn, spesifisen teknisen ratkaisun. Abstrakti konseptiratkaisu määrittää järjestelmävaatimukset, joiden tulee vastata sidosryhmän asettamiin vaatimuksiin. Tietty tekninen ratkaisuvaihtoehto määrittää suunnitteluvaatimukset, joiden tulee vastata järjestelmävaatimuksiin.

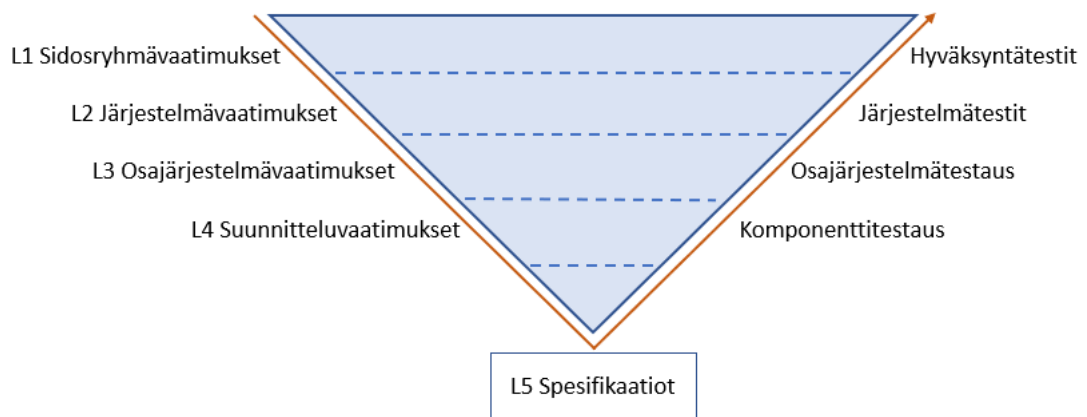


**Kuva 28.** Vaatimusten kohdealueet (Kohdeyrityksen sisäinen dokumentaatio)

Yrityksen laitosjärjestelmien vaatimuksille on määritelty viiden tason hierarkiaa, mikä muodostetaan VAHA-menettelyohjeissa esitettyä V-mallia hyväksikäyttäen. Tätä hierarkiaa on havainnollistettu kuvassa 29. Vaatimushierarkian korkeimmalla vaatimustasolla on sidosryhmävaatimukset. Sidosryhmävaatimukset tarkoittavat tässä yhteydessä lakien, poliittisten päätöksentekijöiden, periaatepäätöksen, rakentamisluvan, viranomaisen sekä yrityksen omistajien asettamia vaatimuksia. Sidosryhmävaatimuksiin kuuluvat



myös STUK:n YVL-ohjeissa asettamat vaatimukset. Huomioitavaa on, että kaikki YVL-ohjeiden sisältämät vaatimukset eivät ole L1-tason vaatimuksia, vaan osa niistä on seikkaperäisempiä teknisiä vaatimuksia. Tällaiset vaatimukset huomioidaan tapauskohtaisesti oikealle vaatimustasolle. L1-taso jakautuu edelleen vaatimusrakenteeksi, jossa vaatimukset on jaettu aihealueittain. L1-tason vaatimukset ovat pääsääntöisesti ehdottomia ja ainoastaan YVL-ohjeiden vaatimusten suhteen voidaan tehdä poikkeuksia, kuten luvussa 2.1.3 on esitetty.



**Kuva 29.** Laitosjärjestelmien vaatimusten hierarkia kohdeyrityksessä (Kohdeyrityksen sisäinen dokumentaatio)

L2-tason vaatimuksissa eli järjestelmävaatimuksissa L1-tason vaatimukset puretaan ylimmän tason järjestelmävaatimuksiksi eli laitoskokonaisuutta koskeviksi vaatimuksiksi. L2-tason vaatimusten tarkoitus on täyttää L1-tason vaatimukset. L3-tasolla laitospokonaisuuden vaatimukset puretaan edelleen osajärjestelmävaatimuksiksi, joiden tarkoitus on täyttää laitoskokonaisuuden, eli L2-tason asettamat vaatimukset. Osajärjestelmillä tarkoitetaan tässä yhteydessä laitoksen sisältämiä järjestelmiä.

Tasolla L4 osajärjestelmien asettamat vaatimukset puretaan suunnitteluvaatimuksiksi. L4-tasolla määritetään kaikki tarvittavat tekniset vaatimukset, joita tarvitaan täyttämään L3-tason osajärjestelmävaatimukset. L5-tasolla suunnitteluvaatimusten perusteella laaditaan spesifikaatio valitun suunnitteluratkaisun perusteella. Spesifikaation muodostuksessa käytetään ainakin osittain hyväksi järjestelmätoimittajan suunnitteluratkaisua. Yrityksen VAHA-menettelyohjeistuksessa esitetään V-mallin mukaisesti testaaminen ja sen suunnittelu jokaisella vaatimustasolla, mutta testaamista ei ole menettelyohjeissa tarkemmin kuvattu.

Vaatimusten muutostenhallinta on osa yrityksen muutoksenhallinnan kokonaisuutta. Muutokset jaotellaan yrityksessä neljään luokkaan (A-D) niiden merkityksen perusteella. Muutoksien luokitukseen vaikuttaa esimerkiksi niiden turvallisuusvaikutus ja kustannusvaikutus. Luokkien A-C muutoksilla voi olla vaikutuksia vaatimuksiin. Muutosehdotukset toimitetaan vastaavalle järjestelmä- tai suunnittelualavastaavalle, joka arvioi muutostarpeen. Mikäli muutostarve on todellinen, järjestelmä- tai suunnittelualavastaa-

va tekee vaikutusanalyysin, jonka tulokset kirjataan muutosehdotukseen. Jos muutoksella on vaikutusta vaatimukseen, se tulee luokitella vähintään luokkaan C. A-C-luokan muutokset käsitellään yrityksen sisäisessä muutostilaisuudessa, jossa on paikalla asiantuntijoita yrityksen eri toiminnoista. Muutostilaisuusesityslistassa on taulukko, johon eri toimintojen asiantuntijat voivat arvioida muutosten vaikutuksia oman toimintonsa kannalta.

Kohdeyrityksellä on vaatimuksia sisältävää dokumentaatiota tallennettuna eri muodoissa yrityksen eri tiedonhallintajärjestelmiin. Vaatimusdokumentaatio koostuu järjestelmäkohtaisista vaatimuksista eli teknisestä vaatimusmäärittelystä, suunnittelualan yleisistä vaatimuksista, toimittajavaatimuksista sekä moninaisesta määrästä erilaisia spesifikaatioita ja ohjeita. Ainoastaan vaatimusmäärittelyissä esitetyt vaatimukset hallitaan yrityksen vaatimustenhallintajärjestelmän ja -menettelyiden kautta. Vaatimusmäärittely on vaatimusdokumentaation hierarkiassa ylin dokumentti, jonka tulisi viitata muihin vaatimusdokumentteihin, spesifikaatioihin ja ohjeisiin. Vaatimusmäärittely sisältää myös suuren määrän viitteitä eri dokumentteihin ja standardeihin, joita järjestelmätoimittajissa tulee yleisesti noudattaa. Vaatimusdokumenttien hierarkia tai roolit eivät käy kovin selkeästi ilmi dokumentaatiosta.

Yrityksellä on ”*Teknisen vaatimusmäärittelyn laadintaohje*” niminen ohjeistus vaatimusten kirjoittamista varten. Ohjeessa on listattu hyvän vaatimuksen ominaisuuksia, jotka mukailevat kappaleessa 2.2.6 esitettyjä kriteerejä. Ohjetta ei ole linkitetty VAHA-menetelyohjeisiin, jonka lisäksi ohjeen sisältö on hyvin pintapuolinen.

Ohjeen listaamat ominaisuudet on esitetty alla.

<i>Tarpeellinen</i>	Jokainen vaatimus aiheuttaa kustannuksia, joten turhia vaatimuksia tulee välttää
<i>Riippumaton</i>	Vaatimuksen tulee määritellä mitä järjestelmä tekee, ei miten
<i>Yksikäsitteinen</i>	Voidaan ymmärtää vain yhdellä tavalla
<i>Täydellinen</i>	Jokainen vaatimus on oma kokonaisuutensa
<i>Todennettavissa</i>	Vaatimusten täyttyminen on pystyttävä todentamaan käytännössä
<i>Jäljitettävissä</i>	Jokainen vaatimus on jäljitettävissä ylöspäin tai alaspäin.

Ohjeistuksessa on myös listattu hyvän vaatimusmäärittelyn ominaisuuksia:

<i>Täydellinen</i>	Sisältää kaikki olennaiset vaatimukset
<i>Yhtenäinen</i>	Vaatimukset eivät ole ristiriidassa keskenään
<i>Toteutettavissa</i>	Järjestelmä on teknisesti toteutettavissa

<i>Saavutettavissa</i>	Kustannukset, aikataulu ja lainsäädäntö sallivat toteuttamisen
<i>Rajoitettu</i>	Määrittelee vain tarvittavan laajuuden

## 4.2 Nykytilanne järjestelmien hankintamenettelyissä

Kohdeyrityksellä on olemassa hankintakäsikirja, jossa esitellään yrityksen hankintaan liittyvä politiikka ja listataan hankintakäsikirjan dokumentit. Itse hankintakäsikirja toimii isäntädokumenttina varsinaiselle hankintadokumentaatiolle. Yrityksen järjestelmä-hankintoja koskeva prosessi on kehityksen alla ja se noudattaa yleisellä tasolla kappaleessa 2.3.4 esitettyä hankintaprosessia. Järjestelmien hankintoja koskeva hankintaprosessi on tarkoitus linkittää osaksi yrityksen hankintakäsikirjaa.

Tähänastisissa järjestelmähankinnoissa yrityksen hankintatoimi ei ole osallistunut vaatimusten laadintaan. Hankintadokumentaatio sopimusluonnosta lukuun ottamatta on koottu pääsääntöisesti kustakin järjestelmästä vastuullisen järjestelmävastaavan toimesta. Sopimusluonnoksen laadinta on kohdeyrityksessä hankinnan vastuulla. Yrityksen järjestelmävastaavien vastuualue on laaja ja kattaa esimerkiksi toimittajien laatujärjestelmää koskevien toimittajavaatimusten määrittämisen yrityksen käytössä olevaan toimittajavaatimusdokumenttipohjaan.

Tarjouspyyntöjen liitedokumentaatio määräytyy pääosin yrityksen käytössä olevan toimittajasopimuspuhjan mukaan, jossa on määrätty lista sopimuksen liitetiedoista. Liitedokumentaatio on numeroitu ja siihen viitataan sopimustekstissä, mutta sen hierarkiaa ei ole syvällisemmin avattu. Sopimusliitteiden lisäksi tarjouspyyntöjen liitteenä toimitetaan tarpeen mukaan yrityksen tietojärjestelmään tallennettuja spesifikaatioita riippuen hankittavasta järjestelmästä. Vastuu riittävän dokumentaation kokoamisesta on pääsääntöisesti järjestelmävastaavan vastuulla.

## 4.3 Koetut ongelmat

Tässä kappaleessa esitellään tutkimuksen empirian tuloksia. Empiria on koostettu kohdeyrityksessä työskentelystä, yrityksen henkilöiden haastatteluista, yrityksen sisäisistä koulutuksista ja dokumentaatiosta tehdyistä havainnoista.

### 4.3.1 Vaatimustenhallinta, vaatimusdokumentit ja spesifikaatiot

Yrityksen vaatimustenhallintaa koskeva ohjeistus ei ole täysin yhtenäinen kokonaisuus. Dokumentit ovat erillisiä eivätkä ne viittaa toisiinsa. Menettelyohjeissa kuvattu V-malli vastaa kappaleessa 2.2.4 esitettyä V-mallin periaatteita. Ohjeistuksessa ei kuitenkaan ole kuvattu V-mallin käyttöä käytännössä eikä V-mallia ole täysimääräisesti hyödynnetty vaatimuksia laadittaessa. Myöskään vaatimusten täyttymisen validointia ei ole vaati-

muksia kirjoitettaessa systemaattisesti mietitty ja kartoitettu V-mallin ehdottamalla tavalla. Kohdeyrityksen järjestelmäkohtaisia vaatimusmäärittelyjä tehdessä ei ole myöskään systemaattisesti noudatettu yrityksen omaa VAHA-menettelyohjetta. Tätä seikkaa selittää ainakin osittain se, että osa vaatimusmäärittelyistä on peräisin ajalta ennen VAHA-menettelyohjeistusta ja lisäksi osa vaatimusmäärittelyistä on yrityksen ulkopuolisten konsulttien laatimia. Prosessin ulkopuolella luodut vaatimusmäärittelyt sisältävät asiantuntijoiden laatimia, pääosin alempien tasojen teknisiä vaatimuksia, joita ei ole johdettu ylemmän tason vaatimuksista, vaan vaatimuksia on lähestytty pikemminkin alhaalta ylöspäin. VAHA-menettelyohjetta ei ole myöskään linkitetty teknisen vaatimusmäärittelyn laadintaohjeeseen, joka itsessään on hyvin pintapuolinen ohje ja kaipaa täydennystä kappaleissa 2.2.5 ja 2.2.6 esitetyistä asioista. Teknisen vaatimusmäärittelyn laadintaohjeessa on annettu liitteenä taulukkopohjat vaatimusten kirjaamista varten sekä sanamuotoisesti kuvaillut vaatimusmäärittelyjen sisällöt. Ohjeistus sinällään on oikean suuntainen, mutta kaipaa tarkentavia ohjeita ja suuntaviivoja kappaleessa 2.2.1 esitellyistä seikoista. Kohdeyritys on päivittämässä teknisen vaatimusmäärittelyn laadintaohjetta, mutta päivitettyä versiota ei ollut tämän työn kirjoittamisen aikaan julkaistu eikä se ollut siten käytettävissä.

Yrityksen vaatimuksia sisältävän dokumentaation keskinen hierarkia ei ole täysin selkeä eikä dokumenttien välisiä suhteita ole tarkkaan määritelty. Varsinkin teknisiin spesifikaatioihin liittyy paljon problematiikkaa; osa yrityksen teknisistä spesifikaatioista on irrallisia eivätkä ne siten täydennä koko dokumentaation eheyttä, spesifikaatioiden sisältö on usein vähäinen ja ne saattavat sisältää paljon viitteitä yrityksen muuhun dokumentaatioon. Runsaat viitteet ja vähäinen sisältö asettavat dokumentin olemassaolon kyseenalaiseksi. Spesifikaatioissa on myös päällekkäisyyksiä eikä aina ole selvää, mikä spesifikaatio on milloinkin relevantti. Spesifikaatioiden tarve on myös voinut hävitä tai se on voinut muuttaa muotoaan, mutta itse dokumentti on silti jäänyt ennalleen. Lisäksi osaa teknisistä spesifikaatioista voidaan kutsua niin sanotuiksi isännättömiksi dokumenteiksi. Tällaisilla dokumenteilla ei ole joko selkeää roolia, omistajaa tai sen sisältö ei välttämättä ole enää ajan tasalla tai muutoin relevanttia. Isännättömiä dokumentteja on saattanut syntyä esimerkiksi dokumentin luoneen henkilön vaihdettua työnantajaa, jolloin dokumentti on jäänyt ilman vastuullista ylläpitäjää.

Yrityksen vaatimuksiin liittyvä dokumentaatio on pääosin luotu yrityksen omaan sisäiseen sekä myös viranomaisen käyttöön, mikä näyttäytyy edellä mainittuina ongelmina. Tästä syystä dokumenteista löytyy paljon viitteitä yrityksen sisäiseen dokumentaatioon, jota ei ainakaan täysimääräisenä voi jakaa kohdeyrityksen ulkopuolelle. Suuri määrä viitteitä myös paisuttaa dokumentaation laajuutta merkittävästi, jolloin selvyys siitä, mikä dokumentti on relevantti milloinkin, on vähintäänkin epäselvä yrityksen ulkopuolelta tarkasteltuna. Laajasta dokumentaatiosta on myös vaikea saada selkeää kokonaiskuvaa. Tällaisenaan nykyisten dokumenttien käyttö järjestelmähankinnoissa on hankalaa, sillä suuri määrä viittauksia sisäiseen dokumentaatioon, jota ei tarjouskyselyiden

yhteydessä voida antaa yrityksen ulkopuolelle, voi näyttäytyä suurena riskinä järjestelmätoimittajien silmissä. Järjestelmätoimittajat saattavat nähdä puuttuvat dokumentit isona riskinä, sillä ne voivat sisältää ennalta näkemättömiä vaatimuksia toimituslaajuuteen liittyen, joihin toimittaja ei tarjousvaiheessa osaa varautua. Yrityksen järjestelmäkohtaiset vaatimusmäärittelyt sisältävät vaatimuksia useammalta vaatimustasolta. Ylemmän tason vaatimukset ovat paikoin hyvin abstrakteja, minkä lisäksi ne voivat vaikuttaa ulkopuolisen silmin irrallisilta. Niiden todentaminen voi olla järjestelmätasolla hankalaa, mikä myös voi herättää järjestelmätoimittajissa epävarmuutta.

Joidenkin järjestelmien dokumentaatio on vielä puutteellinen ja esimerkiksi ajantasaisia vaatimusmäärittelyjä ei ole kaikista järjestelmistä saatavilla. Muutaman tällaisen järjestelmän tapauksessa yrityksessä on vaatimusmäärittelyn sijaan kehitetty järjestelmäkuvausta, jolla on pyritty paikkaamaan vaatimusmäärittelyn puuttumista. Järjestelmäkuvausta voidaan pitää L5 tason spesifikaationa. Normaalissa tapauksessa järjestelmäkuvaus on dokumentti, jossa järjestelmä, sen ominaisuudet, siihen liittyvät tärkeimmät vaatimukset ja toimintaympäristö on kuvattu proosamuotoisesti. Ennen järjestelmän varsinaisen toteutussuunnittelun alkua järjestelmäkuvauksessa esitetään järjestelmästä konseptitason ratkaisu, jolla järjestelmän tarkoitusta ja suunnitteluperusteita on esitelty viranomaiselle. Jos konseptitason järjestelmäkuvausta käytetään vaatimusdokumenttina, se voi osaltaan rajoittaa järjestelmätoimittajan suunnitteluratkaisua ja siten ohjata lopullisen järjestelmän suunnittelua tarpeettomasti muistuttamaan konseptitason suunnitteluratkaisua.

Kohdeyrityksen niin järjestelmäkohtaisissa kuin yleisissäkin vaatimusmäärittelyissä havaittiin puutteita myös yksittäisten vaatimusten osalta. Paikoin vaatimukset ovat abstrakteja ja laajakäsitteisiä. Vaatimuksissa saatetaan viitata esimerkiksi STUK:n YVL-ohjeisiin yleisellä tasolla, jolloin YVL-ohjeiden tulkinta ikään kuin jätetään lukijan oman tulkinnan varaan. Vaatimusmäärittelyt sisältävät eritasoisia vaatimuksia, mikä osaltaan vaikeuttaa järjestelmän kokonaiskuvan hahmottamista. Lisäksi vaatimusten jäljitettävyyys on puutteellista, eikä vaatimusten suhde ylemmän tason vaatimuksiin käy ilmi, eikä vaatimusten lähteitä ole systemaattisesti merkitty näkyviin.

Esimerkkejä:

*”Tarttuja on voitava laskea käytännölliselle huoltokorkeudelle”*

Vaimus on abstrakti ja tulkinta on jätetty lukijalle. Vaatimuksen todentaminen ei myöskään ole yksiselitteistä, eikä sitä ole vaatimusmäärittelyyn kirjattu.

*”Sähkö- ja automaatiojärjestelmien asennustarkastukset sekä dokumentaatio täytyy toteuttaa YVL E.7 mukaisesti”*

Vaimus on laaja ja hankalasti hahmotettava. YVL-ohje E.7 on laaja eivätkä kaikki siellä asetetut vaatimukset ole tason L4-L5 vaatimuksia vaan tarvitsevat

tulkintaa. Vaatimuksen todentaminen ei myöskään ole yksiselitteistä eikä sitä ole vaatimusmäärittelyssä kuvattu.

*”Vaatimusmäärittelyssä mainittuja standardeja on noudatettava”*

Tämä on yleisen vaatimusmäärittelyn vaatimus, joka vaatii noudattamaan järjestelmäkohtaisessa vaatimusmäärittelyssä asetettuja vaatimuksia standardeista. Järjestelmäkohtainen vaatimusmäärittely on korkeimman tason vaatimusdokumentti, jonka vaatimuksia ei tarvitse erikseen vaatia noudatettavaksi alemman tason dokumenteissa.

*”Nostolaiteyksiköt on tarvittaessa varusteltava valoilla”*

Tämä on ehdollinen vaatimus, jonka noudattamisen ehtoja ei ole määritetty. Vaatimuksen todentaminen ei ole yksiselitteistä eikä sitä ole määritetty. Vaatimuksen lähdettä ei ole mainittu.

*”Apujarrun on toimittava käyttöjarrutuksen aikana tietyllä viiveellä käyttöjarruun nähden”*

Vaatimuksen sisältö on puutteellinen. Viive tulisi määrittää suureiden avulla, kuten esimerkiksi ”Apujarrun on toimittava käyttöjarrutuksen aikana 20 ms viiveellä käyttöjarruun nähden”

*”Dynaamisia vaikutuksia kuormaa nostettaessa on rajoitettava”*

Vaatimuksen sisältö ei ole yksikäsitteinen vaan se on tulkittavissa monella tavalla.

*”Ennakoitavissa olevia vika- ja onnettomuustilanteita varten on oltava luotettavat korjausmenetelmät”*

Tässä on kyseessä ylemmän, eli laitostason, vaatimus, jota ei pitäisi esiintyä järjestelmäkohtaisessa vaatimusmäärittelyssä.

Kuten kappaleessa 2.3.5 on todettu, ETO-tyyppisissä projekteissa projektin kohteena olevan tuotteen tai palvelun rajapinnoilla saattaa esiintyä muutoksia, jotka voivat vaikuttaa projektin vaatimuksiin. Myös kohdeyrityksen tapauksessa tästä on nähtävissä viitteitä. Kohdeyrityksen laitosprojekti käsittää suuren määrän järjestelmiä, jotka ovat hyvinkin erilaisissa vaiheissa; osa järjestelmistä on jo pitkälle suunniteltuja, osan suunnittelu on käynnissä ja osasta on tehty vasta alustava konseptisuunnittelu. Järjestelmien välisiä rajapintoja ei myöskään ole keskitetysti hallinnoitu eikä laitoksen suunnitteluasteen kypsyttä ole toistaiseksi arvioitu kovinkaan aktiivisesti. Olkiluoto 3:en (OL3) liittyvien kokemusten mukaan juuri suunnittelun kypsyysasteen arviointi on osoittautunut kriittiseksi projektin onnistumisen kannalta. Edellä mainitut seikat johtavat helposti ti-

lanteeseen, jossa eri tahtiin etenevien järjestelmien suunnittelussa ei osata täysin ottaa huomioon järjestelmän rajapintoihin toisista järjestelmistä kohdistuvia vaatimuksia. Jos rajapinnan toinen osapuoli etenee toista osapuolta nopeammin, nopeammin etenevä järjestelmä saattaa asettaa rajapintaan rajoitteita, jotka voivat osoittautua epäedullisiksi tai rajoittaviksi tekijöiksi rajapinnan alhaisemman kypsyysasteen järjestelmälle. Tällainen tilanne saattaa johtaa osaoptimointiin, jossa pisimmälle edennyt järjestelmä sanelee ehdot omissa rajapinnoissaan.

Yrityksessä on aloitettu vaatimusmäärittelyiden harmonisointiprojekti, jonka tarkoituksena on yhdenmukaistaa olemassa olevia vaatimusmäärittelyjä. Projekti on tätä työtä kirjoitettaessa kesken.

### 4.3.2 Hankinta ja suomalaisen ydinalan erityispiirteet

Kohdeyrityksen hankaluudet vaatimustenhallinnassa ja viestinnässä liittyvät hankinnan kannalta kappaleessa 2.3.4 esitetyn hankintaprosessin vaatimustenmäärittely- ja toimitajavalintavaiheeseen. Havaintojen mukaan ongelmat liittyvät pääsääntöisesti yrityksen toimittajille toimittamaan dokumentaatioon: vaatimusdokumentteihin ja spesifikaatioihin. Vaatimusdokumentaatioon liittyviä ongelmia on käsitelty tarkemmin kappaleessa 4.3.1.

Kappaleessa 2.1 on esitelty laajasti suomalaiseen ydinalaan liittyviä erityispiirteitä. Esi- teltujen piirteiden lisäksi tutkimuksen aikana havaittiin muutama erityispiirre, jotka on myös syytä mainita. Suomen vallitsevat, ydinalaa koskevat turvallisuusmääräykset ovat vaativuudessaan maailman tiukimpia. Ydinalaa valvotaan tiukasti ja tinkimättömästi STUK:n toimesta, joka on yksi maailman tiukimmista ydinalan viranomaisista. Vaativat lupa- ja hyväksyntämenettelyt voivat kalenteriajallisesti olla erittäin pitkiä ja siten osaltaan ne määrittelevät laitosprojektien aikatauluja. Asia on osoittautunut haasteeksi myös kohdeyrityksen laitosprojektissa. Suomessa ydinlaitoshankkeita on ollut historiassa verrattain vähän. 1970-luvulla rakennettujen ydinvoimaloiden jälkeen Suomessa ei rakennettu vuosikymmeniin ydinvoimaloita ennen kuin OL3-laitosyksikön rakentaminen käynnistyi Eurajoen Olkiluodossa vuonna 2005. OL3-laitosyksikön rakentaminen on aiheuttanut paljon painetta STUK:n YVL-ohjeisiin ja määräyksiin, joita on uudistettu merkittävästi 2000-luvun aikana. Viimeisin uudistus on tätä työtä kirjoitettaessa edelleen käynnissä.

Ydinlaitosprojektit ovat tyypillisesti hyvin suuria ja niihin kohdistuu useita isoja haasteita. Yksi merkittävä haaste on ydinlaitosprojektien pitkä ajallinen kesto; laitoksen suunnittelusta on usein vuosien matka käytännön rakentamiseen. Pitkä ajallinen kesto on huomioitava laitoksen järjestelmien toimitusketjussa, sillä suunnitteluratkaisut ovat voineet poistua markkinoilta ennen kuin rakentamista on päästy aloittamaan. Eurajoen Olkiluotoon rakennettavan OL3-projektin kokemuksen mukaan eräs merkittävä haaste ydinlaitosprojektissa on laitossuunnittelun valmiusasteen arvioiminen ja mittaaminen.

Suunnittelun valmiusaste tulee olla riittävä, jotta suunnitelmat voidaan antaa viranomaisen arvioitavaksi. Keskeneräiset suunnitelmat palautuvat viranomaisen käsittelystä täydennettäväksi ja tämä voi aiheuttaa merkittäviä lisäviiveitä.

Edellä mainitut seikat ovat osasy siihen, miksi ydinlaitoksen järjestelmien hankinnan yhteydessä usein puhutaan niin sanotusta ”ydinvoimalisästä” järjestelmien hinnoissa. Yksi merkittävä syy ydinvoimalisän muodostumisessa on järjestelmätoimituksiin liittyvä, kelpoistamista varten tarvittava laaja ja yksityiskohtainen dokumentaatio. Dokumentaation laadinta ja hyväksyntä on työläs sekä ajalliselta kestoaltaan haastava kokonaisuus. Dokumentaation tulee täyttää sekä viranomaisen että luvanhaltijan itsensä asettamat vaatimukset. Dokumentaation hyväksyntäprosessi kattaa sekä luvanhaltijan omat sisäiset hyväksyntäkierron sekä STUK:n hyväksynnän.

#### **4.4 Suositukset vaatimustenhallintakäytäntöihin**

Kuten kappaleessa 2.2 on esitetty, vaatimustenhallinta on tärkeä osa systeemisuunnittelua ja se on vuorovaikutuksessa kaikkien muiden järjestelmäsuunnittelun haarojen kanssa. Turvallisuuskriittisissä laitoksissa - ja sen järjestelmissä - vaatimustenhallinnan tärkeys korostuu entisestään, sillä tärkeimmät sidosryhmävaatimukset vyörytetään järjestelmille viranomaisen ja lainsäätäjän asettamista turvallisuusvaatimuksista.

Kohdeyhteyksellä on olemassa olevat ja dokumentoidut menettelyohjeet sekä vaatimusten- että konfiguraationhallintaan. Ohjeet noudattelevat kirjallisuudessa yleisesti esitellyjä periaatteita ja ovat varsin teoreettisia. Menettelyohjeissa on kuitenkin asioita, joita tarkentamalla vaatimusmäärittelyjen laatua ja tarkkuutta on mahdollista parantaa ja siten edesauttaa muita sidosryhmiä hahmottamaan kokonaiskuvaa paremmin. Tämän työn tutkimuksen tuloksena esitetään seuraavat suositukset vaatimustenhallintakäytäntöjen kehittämiseksi:

- Vaatimustenhallinnan menettelyohjeiden yhtenäistäminen ja tarkentaminen
- Muutostenhallinta
- Hankintadokumentaatio
- Järjestelmäkohtainen vaatimusdokumentaatio

Seuraavassa kuvataan kutakin suositusta yksityiskohtaisemmin.

##### **1) Vaatimustenhallinnan menettelyohjeiden yhtenäistäminen ja tarkentaminen**

Yrityksen vaatimustenhallintaa koskevaa ohjeistoa olisi hyvä päivittää tarkentamalla vaatimustenhallintaa koskevia käytäntöjä käytännön tasolle. Kuten kappaleissa 4.1 ja 4.3.1 on esitetty, nykyiset ohjeet ovat teoreettisia eikä niiden käyttöä ole kuvattu käyttäjän tarvitsemalla tasolla. Menettelyohjeiden välisiä linkityksiä tulisi myös tarkentaa ja rakentaa dokumentaatiosta yhtenäisempi kokonaisuus.



Vaatimusmäärittelyjen laadintaa koskevan ” *Teknisen vaatimusmäärittelyn laadintaohjeen* ” sekä vaatimuksia että vaatimusmäärittelyjä koskevia ohjeita tulisi tarkentaa ja havainnollistaa esimerkkien avulla. Ohjeissa tulisi ottaa huomioon kappaleissa 2.2.5 ja 2.2.6 esitetyt yleisesti tunnistetut ongelmat sekä hyvät käytännöt. Ohjeisiin tulisi lisätä ohjeistus järjestelmien rajapintojen systemaattiseen tunnistamiseen. Nykyisistä vaatimusmäärittelyistä saadut kokemukset ovat osoittaneet, että kaikkia rajapintoja ei ole pystytty tunnistamaan.

Yrityksen kannattaisi lisäksi panostaa sekä vaatimustenhallinnan että konfiguraatiohallinnan käytäntöjen koulutukseen nykyistä enemmän ja siten pienentää kynnystä menettelyiden noudattamiseen.

## **2) Muutostenhallinta**

Yrityksen vaatimusten muutostenhallintaa koskeva ohjeistus tulisi täydentää erityisesti vaikutusanalyysien osalta. Nykyisin vaikutuksia arvioidaan muutostokouksissa eri toimintojen osalta, mutta esimerkiksi järjestelmien väliset rajapinnat ja niissä esiintyvien muutosten analysointia ei ole kovin tarkasti kuvattu. Analysoinnin pohjana voi käyttää esimerkiksi vaatimusmäärittelystä löytyviä liittyviä järjestelmiä. Rakentamalla ohjeistusanalyysin tekemiseen analysointimenettelyitä pystyttäisiin vakioimaan ja siten varmistamaan analyysin riittävä kattavuus. Vaikutusanalyysin ohjeistus tulisi laatia kattamaan myös edellisessä kappaleessa mainitut järjestelmien rajapinnat sekä niissä tapahtuvat muutokset. Vaatimustenmuutostenhallinnan tehtävänä on pitää huolta kappaleessa 2.2.4 kuvatussa horisontaalisesta jäljitettävyydestä.

Kuten kappaleessa 2.2.5 on todettu, vaatimukset voivat muuttua yli ajan johtuen esimerkiksi toimintaympäristön muutoksista tai ulkoisten rajapintojen muutoksista. Tämä on tavallista varsinkin ETO-projekteissa, joissa rakennetaan FOAK-tyyppisiä tuotteita ensimmäistä kertaa. Kuten kappaleessa 2.3.5 on todettu, lähtötietojen lukitseminen voi olla hidas prosessi, minkä vuoksi muutoksia saattaa tapahtua. Siksi oman toimintaympäristön ymmärtäminen on erittäin tärkeää varsinkin siksi, että se on viestittävässä myös sidosryhmille. Avoimuus informaationhallinnassa edesauttaa myös järjestelmätoimittajia toimintaympäristön ymmärtämisessä, joka voi edesauttaa vaatimusmuutoksiin suhtautumisessa.

Vaatimustenmuutostenhallintaa koskevissa ohjeistuksissa olisi tärkeä kuvata järjestelmätoimituksista tehtyjen sopimusten jälkeisen ajan muutostenhallinta. Nykyisellään muutostenhallinnan ohjeistukset koskevat yksinomaan kohdeyrityksen omaa, sisäistä muutostenhallintaa. Kun järjestelmistä solmitaan toimitussopimus, muutostenhallinta muuttuu osapuolten välillä kappaleessa 2.2.3 kuvatulla tavalla ilmoitusluonteisesta muutostenhallinnasta hyväksyntäperusteiseksi muutostenhallinnaksi. Hyväksyntäperusteisessa muutostenhallinnassa on huomioitava sopimuksen molemmat osapuolet. Myös

järjestelmätoimittaja on osallistutettava muutoksiin liittyvään vaikutusanalyysiin, sillä toimituslaajuuteen liittyvien vaatimusten muutokset aiheuttavat usein lisäkustannuksia.

### 3) Hankintadokumentaatio

Kappaleessa 4.3 on esitelty kohdeyrityksen vaatimusdokumentaatiosta havaittuja kipukohtia, joita kehittämällä järjestelmähankinnoissa käytettävästä dokumentaatiosta on mahdollista kehittää paremmin ulkoisia sidosryhmiä palveleva kokonaisuus. Yrityksen käyttämän vaatimustenhallintajärjestelmän (DOORS) tulostamat vaatimusmäärittelyt voivat nykyisellään vaikuttaa vaikeaselkoisilta yrityksen ulkopuolisten sidosryhmien, kuten esimerkiksi järjestelmätoimittajien silmissä. Järjestelmäkohtaiset vaatimusmäärittelyt on selkeästi rakennettu palvelemaan sekä yrityksen omia että viranomaisen tarpeita, minkä vuoksi ne sisältävät suuren määrän sellaista informaatiota, mitä ei ole välttämätöntä välittää järjestelmätoimittajille. Sama huomio koskee myös yrityksen nykyisiä spesifikaatioita, jotka pääosin on tehty palvelemaan yrityksen sisäisiä rajapintoja eri suunnittelualojen ja toimintojen välillä. Järjestelmäkohtaisista vaatimusmäärittelyistä myös puuttuu paljon informaatiota, kuten vertikaalista jäljitettävyyttä ja vaatimuksien lähteitä. Myöskään vaatimuksien täyttymiseen ja sen arviointiin liittyvää informaatiota ei ole vaatimusmäärittelyihin sisällytetty, kuten täyttymisen arviointiin tarvittavia kriteereitä tai täyttymisen verifiointitapaa.

Saatujen kokemusten mukaan järjestelmäkohtaisissa vaatimusmäärittelyissä esitetyt järjestelmän muille liittyville järjestelmille asettamat vaatimukset aiheuttavat hämmennystä ja osaltaan saattavat näyttäytyä ”scope creep”-tyyppisenä riskinä järjestelmätoimittajille. Scope creep:llä tarkoitetaan vaatimuksiin tai toimituslaajuuteen liittyvää jatkuvaa tai kontrolloimatonta muutoskierrettä (Larson & Larson, 2009). Samasta syystä johtuen järjestelmähankinnoissa käytettävässä dokumentaatiossa tulisi välttää viittauksia sellaisiin dokumentteihin, joita ei ole sisällytetty järjestelmätoimittajalle annettavaan aineistoon. Aineiston laadintaan kannattaa kutsua yrityksen hankintatoimen edustajat mukaan ja huomioida aineiston laadinnassa hankinnan näkökannat, sillä järjestelmästä riippuen niiden taloudelliset vaikutukset voivat olla hyvinkin merkittäviä. Etenkin toimittajavaatimuksia laadittaessa erilaisten hankintojen toimitusriskiä olisi hyvä analysoida esimerkiksi kappaleessa 2.3.2 esitetyin keinoin.

Kehittääkseen nykytilannetta ilman valtavaa –koko dokumentaation uudelleenrakentamista– yritys voisi miettiä kappaleessa 2.3.6 esitellyn erillisen, ulkoisia rajapintoja järjestelmähankinnoissa palvelevan hankintadokumentaation kehittämistä. Hankintadokumentaatio voitaisiin soveltuvien osien rakentaa taulukkomuotoon hyväksikäyttäen luvussa 2.2.6 esitettyjä periaatteita sekä välttämällä luvussa 2.2.5 esitettyjä yleisesti tunnettuja ongelmakohtia. Taulukkomuotoisia vaatimuksia on helppo sekä yksilöidä että hallita ja siten myös todentaa. Ideaalitalanteessa hankintadokumentaatio olisi hierarkkinen ja koherentti kokonaisuus, joka sisältäisi kaiken sen ja vain sen välttämättömän tiedon, jota järjestelmätoimittajat saattavat tarjouspyyntöprosessin aikana tarvita. Hankintadokumen-

taatio voitaisiin muodostaa kappaleessa 2.3.6 esitellyn jaottelun mukaan ja hyödyntää soveltuvien osien yksityiskohtaisuutta ja funktionaalisuutta. Yksityiskohtaisia dokumentteja tulisi käyttää vain silloin, kun se on välttämätöntä. Esimerkiksi järjestelmän sähköautomaatiota koskevat rajapinnat ovat tärkeitä määrittää yksityiskohtaisesti, kun taas järjestelmän toiminnallisuus on hyvä määrittää funktionaalisesti ja tavoitepohjaisen vaatimusmäärittelyn periaatteita hyväksikäyttäen.

Hankintadokumentaatiolla voisi olla isäntädokumentti, joka avaa koko aineiston hierarkian, aineiston sisältämien dokumenttien roolien määrittäykset ja tulkinnat erilaisissa hankintatapauksissa. Tällaisia tapauksia voisi olla esimerkiksi EYT-järjestelmien hankinnat ja TL3-järjestelmien hankinnat. Aineisto sisältäisi kaikki ne vaatimukset, jotka järjestelmätoimittajaa koskevat. Tällaisia vaatimuksia ovat esimerkiksi järjestelmätoimittajan laatujärjestelmää, prosesseja ja projektin toteutusta koskevat toiminnalliset vaatimukset sekä järjestelmäkohtaiset tekniset vaatimukset. Kuten olemassa olevassakin dokumentaatiossa, toimittajaspesifikaatiossa vaatimukset voitaisiin aineiston sisällä jakaa useampaan dokumenttiin selkeyttämään kokonaisuutta sekä helpottamaan aineiston päivittämistä.

Hankintadokumentaatioon sisällytettävälle erityyppisille vaatimusryhmille ja dokumenteille olisi hyvä osoittaa vastuullinen henkilö linjaorganisaatiosta, jonka tehtävänä olisi ylläpitää vastuulleen annettuja vaatimuksia. Vastuullisen henkilön tehtävänä olisi toimia asiantuntijana oman vastuunsa alaisiin vaatimuksiin liittyvissä kysymyksissä, sekä pitää ne ajan tasalla muutostenhallinnan käytäntöjen avulla. Selkeä, ajantasainen ja hyvin strukturoitu vaatimusmäärittely helpottaa järjestelmän moninaisuuden omaksumista. Lisäksi dokumenteille olisi hyvä määritellä katselmointisyklit, jolloin aineiston päivitystarve tulisi arvioida määräajoin toimittajilta saadun palautteen sekä yrityksen omien havaintojen perusteella. Katselmoinneissa dokumentin sisältöä arvioitaisiin kokonaisuutena ja joko lisättäisiin tai poistettaisiin sisältöä tarpeen ja tilanteen mukaan. Hankintadokumentaation hallinnassa tulisi käyttää yrityksen omia konfiguraationhallinnan menettelyjä, jolloin muutoksien jäljitettävyyden ja analysointi olisivat hallinnassa. Konfiguraatioiden avulla myös järjestelmistä saadut tarjoukset sekä niissä esiintyvät muutokset olisivat selkeämmin hallittavissa ja jäljitettävissä.

#### **4) Järjestelmäkohtainen vaatimusdokumentaatio**

Järjestelmäkohtaisessa vaatimusdokumentaatiossa esitettyjen vaatimusten jäljitettävyyttä olisi hyvä parantaa. Jäljitettävyyden parantaminen saattaa edellyttää ainakin osittain vaatimusmäärittelyjen uudelleenlaadintaa. Järjestelmäkohtaisia vaatimuksia laadittaessa on tärkeää ymmärtää järjestelmäkohtainen konteksti ja sitä kautta hahmottaa kunkin järjestelmän sidosryhmät, jotka poikkeavat laitostason ajattelusta. Esimerkiksi laitostason L1 sidosryhmävaatimukset poikkeavat järjestelmätason L1 sidosryhmävaatimuksista. Kun laitostasolla sidosryhmävaatimukset koostuvat kappaleessa 4.1 esitellyistä lähteistä, kuten esimerkiksi viranomaisten ja yrityksen omistajien asettamista vaatimuksista,

niin järjestelmätasolla samaan ryhmään kuuluvat myös järjestelmätason sidosryhmien vaatimukset, kuten käyttöhenkilöstön asettamat vaatimukset.

Yleisesti ottaen järjestelmäkohtaisissa vaatimusmäärittelyissä vaatimuksia tulisi vyöryttää ylimmältä L1 vaatimustasolta V-mallia hyväksikäyttäen, jolloin vaatimusten jäljitettävyyden olisi selkeä sekä myös vaatimusten todentaminen tulisi samalla huomioitua ja dokumentoitua. Vaatimuksien todentamisen pohtiminen on tärkeä osa vaatimusten validointivaihetta (ks. 2.2.1), jossa vaatimuksen tarpeellisuutta ja asettelua kyseenalaistetaan. Kaikki vaatimukset olisi hyvä esittää taulukkomuodossa, jolloin vaatimuksiin liittyviä lisätietoja olisi helppo hallita. Esitettäviä lisätietoja voisi esimerkiksi olla vaatimuksen lähde tai ylempi vaatimustaso, josta vaatimus on peräisin. Lisäksi olisi hyvä esittää dokumentti, missä todisteet vaatimuksen validoinnista tulisi esittää sekä tapa, jolla vaatimus todennetaan. Vaatimusedokumentaatioissa esitetyt vaatimukset tulisi kirjata niin, ettei niihin jää tulkinnanvaraa. Yrityksen edustajan mukaan alalle on yleisesti ominaista se, että järjestelmätoimittaja voi joutua tulkitsemaan esimerkiksi YVL-ohjeita sen sijaan, että luvanhaltija esittäisi YVL-ohjeista valmiiksi tulkitut vaatimukset.

#### 4.4.1 Vaatimustaulukko

Työn tuloksena kehitettiin yrityksen vaatimustenhallinnan ja hankinnan käyttöön taulukkomuotoinen työkalu, jota voidaan hyödyntää hankintadokumentaation laadinnassa. Vaatimustaulukolla haluttiin tavoitella tilannetta, jossa V-mallia (ks. 2.2.4 ja 4.1) hyödyntämällä vaatimukset olisi mahdollista taulukoida hierarkkisesti ja tuoda vaatimusten vertikaalinen jäljitettävyyden selkeästi esille. Horisontaalinen jäljitettävyyden tulisi hallita konfiguraatioina DOORS-vaatimustenhallintatyökalussa tai vaihtoehtoisesti dokumentinhallintajärjestelmän versiohistorian avulla. Vaatimustaulukko on esitetty liitteessä 1.

Vaatimustaulukko on Excel-muotoinen taulukko, jossa on yhteensä 12 saraketta. Sarakkeiden määrää voi tarvittaessa kasvattaa tai vähentää riippuen tarvittavasta hallinnan tarkkuudesta sekä informaation määrästä. Excel mahdollistaa erilaisten suodatin- ja pivot-työkalujen käytön, joiden avulla vaatimuksista voidaan tarvittaessa luoda erilaisia näkymiä ja raportteja. Taulukko voidaan generoida yrityksen DOORS-vaatimustenhallintajärjestelmästä, jolloin käytössä on ajantasaiset vaatimustiedot. DOORS-vaatimustenhallintajärjestelmä mahdollistaa erilaisten tietojen jäsentelyn useisiin sarakkeisiin, jolloin kaikki tarvittava tieto on hallittavissa järjestelmän kautta.

Vaatimustaulukon avulla vaatimusten täyttymistä on mahdollista seurata hallitusti ja dokumentoidusti. Lisäksi vaatimustaulukon avulla on mahdollista määritellä erilaisia tapoja vaatimusten todentamiselle sekä dokumentit, joista todisteet vaatimuksen täyttymisestä täytyy olla löydettävissä. Vaatimustaulukko voi toimia samalla järjestelmätoimittajille pohjana toimittajayhteenvetoa varten. Toimittajayhteenvedossa järjestelmätoimittaja joutuu esittämään todisteita sekä suunnittelukohtaisissa että järjestelmäkohtaisissa vaatimusmäärittelyissä esitettyihin vaatimuksiin.

#### 4.4.2 Tarkistuslista

Yrityksen vaatimusmäärittelyn laatimisoheissa on mainittu kriteerit vaatimusten ja vaatimusmäärittelyiden laatimisille. Yritys voisi laajentaa ja täsmentää ohjettaan tarkistuslistojen avulla ja siten edesauttaa vaatimusmäärittelyiden laatua ja määrämuotoisuutta. Alle on listattu kysymyksiä, joita vaatimuksia ja vaatimusmäärittelyitä tekevä työryhmä voi vaatimusmäärittelyprosessin aikana hyödyntää.

Vaativuustaso:

- Onko vaatimus välttämätön?
- Onko vaatimus yksilöllisesti jäljitettävissä?
- Onko vaatimus vertikaalisesti jäljitettävissä?
- Sisältääkö vaatimusteksti kunkin vaatimuksen kohdalla vain yhden vaatimuksen?
- Voiko vaatimuksen tulkita useammalla kuin yhdellä tavalla?
- Onko vaatimuksille määritetty todentamistapa?

Vaatimusmäärittelytaso:

- Onko vaatimusmäärittelyn pohjana käytetty määrämuotoista vaatimusmäärittelypohjaa?
- Onko vaatimusmäärittelypohjan otsikointia noudatettu?
- Onko järjestelmän kaikki rajapinnat tunnistettu järjestelmällisesti?
- Onko järjestelmän sidosryhmäanalyysi tehty?
- Sisältääkö vaatimusmäärittely vain järjestelmätasoisia vaatimuksia?
- Onko vaatimusmäärittelyssä käytetty terminologia yhteneväinen ja yksiselitteinen?
- Onko vaatimusmäärittelyn sisältämät vaatimukset ristiriidattomia keskenään?
- Onko vaatimusmäärittelyn jokaiselle vaatimukselle määritetty
  - o Yksilöity tunniste
  - o Taso
  - o Lähde
  - o Todentamismenetelmä
  - o Dokumentti, josta todisteet täyttymisestä käy ilmi

## 5. YHTEENVETO

Tässä luvussa tarkastellaan työn tuloksia, pohditaan tutkimuskysymyksiin esitettyjä vastauksia sekä arvioidaan tutkimusta ja sen onnistumista.

### 5.1 Keskeiset tulokset

Työn tuloksena syntyi analyysi kohdeyrityksen vaatimustenhallinnan nykytilasta järjestelmähankintojen kannalta. Kohdeyrityksen nykyiset vaatimustenhallintamenettelyt ovat pääasiassa kirjallisuudessa esiteltyjen hyvien menettelytapojen mukaisia. Havaitut puutteet johtuivat enimmäkseen siitä, ettei käytännön toiminta yrityksessä täysin vastaa yrityksen dokumentoituja menettelytapoja tai niitä koskevaa ohjeistusta. Tästä johtuen olemassa olevissa vaatimusmäärittelyissä esiintyy ongelmia esimerkiksi jäljitettävyyteen ja todennettavuuteen liittyen (ks. 4.1).

Nykyisiin menettelyihin liittyen työssä syntyi lista suosituksista, joiden avulla nykyisiä menettelyitä voisi kehittää edelleen. Suosituksia luotiin erityisesti vaatimusdokumentaation osalta, jota jalostamalla hankintadokumentaatioksi järjestelmiä koskeviin vaatimuksiin liittyvää, järjestelmätoimittajien suuntaan esiintyvää epävarmuutta ja hajanaisuutta olisi mahdollista parantaa.

Työn tuloksena syntyi myös taulukkomuotoinen työkalu, jonka avulla vaatimuksia voidaan viestiä ja hallita järjestelmätoimittajarajapinnoissa. Taulukko toimii työkaluna järjestelmähankinnan molemmille osapuolille. Hankkiva osapuoli voi taulukon avulla viestiä vaatimuksia hierarkkisesti ja halutessaan esittää vaatimusten jäljitettävyyttä ylimmälle sidosryhmätasolle asti. Työkalun avulla on mahdollista hallita vaatimusten todentamista sekä priorisoida vaatimuksia antamalla niiden todentamiselle projektiaikatauluun sidottuja tavoitteita (engl. milestone).

### 5.2 Työn arviointi ja rajoitteet

Eräs tapa arvioida tehtyä tutkimusta on verrata tuloksia työlle asetettuihin tutkimuskysymyksiin. Tässä tutkimuksessa oli kaksi päätutkimuskysymystä:

- 1) *Miten epätäydellisistä vaatimusmäärittelyistä johtuvaa epävarmuutta voitaisiin hallita hankintaprosessissa?*
- 2) *Millä tavoin vaatimusmäärittelyn toteutumista hallitaan ja dokumentoidaan?*

Molempiin tutkimuskysymyksiin pyrittiin vastaamaan etsimällä ensin vastauksia pääkysymysten apukysymyksille. Vastauksia etsittiin kirjallisuudesta tutkimalla vaatimuserittelyihin liittyvää kirjallisuutta mahdollisimman monipuolisesti ja objektiivisesti. Tukea vastauksiin etsittiin myös hankintatoimeen ja erityisesti räätälöityihin hankintoihin liittyvän teorian kautta. Työn empiirisessä osuudessa kerättiin molempiin tutkimuskysymyksiin sekä niiden apukysymyksiin liittyen kokemuksia kohdeyrityksen toiminnasta ja kipukohtia ongelmakentän hahmottamiseksi. Tutkimuskysymyksiin vastauksia laadittaessa pyrittiin olemaan mahdollisimman objektiivinen ja siten sulkemaan omia ennakkokäsityksiä. Empiirisen havainnoinnin jälkeen työssä pyrittiin löytämään teorian tukemia suosituksia yrityksen nykyisiin käytäntöihin.

Tutkimukseen liittyi rajoitteita ennen kaikkea työn empirian osalta, joka jäi suppeaksi verrattuna käsiteltyyn teorian osuuteen. Empirian keräämiseksi haastateltiin vain muutamia yrityksen edustajaa ja loput havainnot kerättiin yrityksessä päivätyön ohessa omina havaintoina yrityksen toiminnasta, sisäisistä koulutuksista sekä dokumentaatiosta. Haastatteluiden pienen määrän ei kuitenkaan katsottu olevan merkittävä tekijä lopputuloksen kannalta, sillä kattavampi määrä haastatteluista ei todennäköisesti olisi muuttanut tutkimuksen lopputulosta. Työn aikana tehdyt havainnot päästiin tekemään meneillään olevista sekä työn aikana käynnistetyistä järjestelmähankinnoista, niihin liittyvistä tapahtumista ja dokumentaatiosta. Kaikki tehdyt havainnot & haastattelut olivat vahvoja sekä toisiansa tukevia ja siten johtivat samoihin päätelmiin, jotka on tässä työssä esitelty.

Vaatimustenhallinnasta kirjoitetut teokset ja luodut työkalut perustuvat valtaosin ohjelmistoteollisuuden tarpeisiin. Vaatimustenhallintaan liittyvät periaatteet ovat kuitenkin yleisesti sovellettavissa myös muille teollisuudenaloille. Tämän työn tuloksia voidaan hyödyntää myös muilla turvallisuuskriittisillä, säännellyillä ja vaatimusteknisesti haastavilla teollisuudenaloilla, joissa järjestelmä- tai laitetoimittajat joutuvat täyttämään ja hallitsemaan suuren määrän vaatimuksia. Tällaisia teollisuudenaloja ovat esimerkiksi öljy- ja kaasuteollisuus sekä rautatieollisuus.

Työssä esitettyä vaatimustaulukkoa ei myöskään ehditty testaamaan käytännössä, sillä vaatimusten vieminen matriisiin vaatisi suuren määrän työtä, jota ei ollut tarkoituksenmukaista suorittaa tämän diplomityön puitteissa. Käytännön testauksen puuttuessa työn tuloksena ei ole mahdollista arvioida esiteltyjen kehityskohteiden ja työkalujen toimivuutta käytännössä, eikä niiden soveltuvuutta kohdeyrityksen olemassa olevien prosessien, dokumentaation ja työkalujen rinnalle. Työn tuloksia tulee arvioida kriittisesti ja muokata työn tuloksena esiteltyjä asioita käyttökokemusten sekä saadun palautteen perusteella.

### 5.3 Jatkokehitysehdotukset

Isot laitosprojektit ovat erittäin riippuvaisia informaationhallinnasta ja ydinlaitoksista puhuttaessa erityisesti turvallisuusvaatimuksiin liittyvästä informaationhallinnasta. Vaatimustenhallinnan rooli laitoshankkeessa on erittäin keskeisessä osassa ja siten se ansaitsee riittävästi huomiota ja resursseja. Laadukas vaatimustenhallinta edesauttaa sidosryhmävaatimusten täyttymistä ja helpottaa päivittäistä työtä etenkin järjestelmätasolla. Laadukkaat vaatimusmäärittelyt poistavat epävarmuutta, ratkaisevat ristiriitoja sekä suoraviivaistavat päivittäistä järjestelmien kehitystyötä. Laadukkaiden vaatimusmäärittelyiden merkitys korostuu varsinkin ETO-tyyppisissä järjestelmäprojekteissa, joissa järjestelmä kehitetään täysin tilaajan lähtökohtien ja vaatimusten perusteella.

Vaatimuksia on erilaisia ja eri tarkoitukseen laadittuja. Kuitenkin kaikkia vaatimuksia koskevat pääsääntöisesti samat lainalaisuudet: vaatimusten tulee olla selkeitä, yksiselitteisiä, jäljitettävissä ja niiden todentaminen tulee olla selkeää. Järjestelmäkohtaisten sekä suunnittelualakohtaisten teknisten vaatimusten lisäksi vaatimustenhallinnan alle on mahdollista alistaa myös kaikki muutkin vaatimukset, kuten esimerkiksi laatujärjestelmiä ja järjestelmätoimittajan menettelytapoja koskevat vaatimukset. Samalla tavalla hallitut vaatimukset määrämuotoistavat ja vakioivat vaatimuksia, niiden laatua sekä yrityksen menettelyitä.

Ehdotettujen suositusten vieminen käytäntöön on yksi tapa kehittää edelleen tässä työssä tehtyä tutkimusta. Kokonaisen hankintadokumentaation luominen on iso ja ajalliselta kestoltaan haastava projekti, sillä yrityksen käytössä oleva dokumentaatio on laaja. Tässä työssä luodun taulukon tarpeellisuuden ja tarkkuuden arvioiminen vaatii lisätyötä ennen täysimittaista toteuttamista. Lisäksi työkalun käyttöä olisi syytä testata jonkin yksinkertaisen ja turvallisuusmerkitykseltään pienen järjestelmän hankinnassa käytännön kokemuksien kartuttamiseksi.

Vaatimustenhallintaa käsittelevien ohjeiden kehittäminen on kohdeyrityksessä käynnissä. Ohjeistuksessa voisi ottaa huomioon käytännöllisyyden ja siten pienentää kynnystä niiden noudattamiseen. Käytäntöön sovitettu ohjeistus kannustaa työntekijöitä hyödyntämään vaatimustenhallinnan ja vaatimusmäärittelyihin liittyviä menettelyitä. Tämä on tärkeää, sillä vaatimustenhallinta on keskeisessä roolissa varsinkin turvallisuuskriittisiä järjestelmiä suunniteltaessa ja hankittaessa.



## LÄHTEET

Aaltola, J., & Valli, R. (2007). Ikkunoita tutkimusmetodeihin I, Jyväskylä, PS-Kustannus, 243 s.

Baily, P., Farmer, D., Jessop, D., & Jones, D. (2005). Purchasing principles and management, 9<sup>th</sup> edition, Harlow, Pearson Education, 427 s.

Berry, D. (1995). The Importance of Ignorance in Requirements Engineering, *Journal of Systems and Software*, 28(2), pp.179–184, saatavissa (viitattu 24.02.2019): <https://doi.org/10.1177/108056998705000101>.

Christel, M., & Kang, K. (1992). Issues in Requirements Elicitation, Pittsburgh, Carnegie Mellon University, s. 67, saatavissa (viitattu 05.03.2019): <https://pdfs.semanticscholar.org/6d1b/aeb3cfde1ecb8bf1b75e212e44e98edec2c5.pdf>.

Cohen, S., & Roussel, J. (2004). Strategic supply chain management - The 5 disciplines for top performance, New York, McGraw-Hill, 316 s.

Dobson, M. S., & Singer, D. (2011). Project Risk and Cost Analysis, New York, American Management Association, 248 s.

Eskola, J., & Suoranta, J. (2000). Johdatus laadulliseen tutkimukseen, Tampere, Vastapaino, 268 s.

NDir 2009/71/Euratom ydinlaitosten ydinturvallisuutta koskevan yhteisön kehityksen perustamisesta, EUVL L 172. 2.7.2009, 25.6.2009, saatavilla (viitattu 22.11.2018): <https://www.stuklex.fi/fi/ls/eu/32009L0071>.

FinNuclear Ry. (2018). Ydinvoimalainsäädännön erityispiirteet verkkokurssi, saatavilla (viitattu 13.10.2018): <https://ellen.finnuclear.fi/course/view.php?id=10>.

Firesmith, D. (2007). Common Requirements Problems, Their Negative Consequences, and the Industry Best Practices to Help Solve Them, *Journal of Object Technology*, 6(1), pp.17–33.

Ghauri, P., & Grønhaug, K. (2010). Research methods in business studies, Pearson, 265 s.

Gotel, O. C. Z. (1995). Contribution Structures for Requirements Traceability, Lontoo, University of London, saatavilla (viitattu 13.01.2019): <http://ollygotel.com/downloads/gotel-phd-1995.pdf>.

Gotel, O. C. Z., & Finkelstein, A. (1994). An Analysis of the Requirements Traceability Problem, Lontoo, Imperial College of Science, saatavilla (viitattu 13.01.2019): <https://ieeexplore-ieee-org.libproxy.tut.fi/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=292398>

Hallituksen esitys, HE 28/2018, 28.03.2018, saatavilla:  
<https://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2018/20180028>.

Hicks, C., McGovern, T., & Earl, C. (2000). Supply chain management - A strategic issue in engineer to order, *International Journal of Production Economics*, 65(2), pp.179–190.

Hirsjärvi, S., Remes, P., & Sajavaara, P. (2009). *Tutki ja kirjoita*, Helsinki, Tammi, 464 s.

Hoffmann, H., & Lehner, F. (2001). Requirements Engineering as a Success Factor in Software Projects, *IEEE Software*, 18(4), pp.58–66.

Hood, C., Wiedemann, S., Fichtinger, S., & Urte, P. (2008). Requirements management: The interface between requirements development and all other systems engineering processes, Berlin, Springer-Verlag, 275 s.

Iloranta, K., & Pajunen-Muhonen, H. (2015). Hankintojen johtaminen – Ostamisesta toimittajamarkkinoiden hallintaan, Helsinki, Tietosanoma, 432 s.

Johnsen, T. E., Howard, M., & Miemczyk, J. (2014). *Purchasing and Supply Chain Management*, New York, Routledge, 268 s.

Kosola, J. (2013). *Vaatimustenhallinnan opas*, Tampere, Maanpuolustuskorkeakoulu, saatavilla (viitattu 20.12.2018): <http://www.doria.fi/handle/10024/88931>.

Kotonya, G., & Sommerville, I. (1997). *Requirements Engineering*, New York, John Wiley & Sons, 282 s.

Laki ydinenergialain muuttamisesta, 905/2017, 14.12.2017, saatavilla:  
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170905>.

Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä, 252/2017, 05.05.2017, saatavilla:  
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170252>.

Larson, R., & Larson, E. (2009). Top five causes of scope creep ... and what to do about them, PMI® Global Congress 2009—North America, Orlando, PMI, saatavilla (viitattu 06.04.2019): <https://www.pmi.org/learning/library/top-five-causes-scope-creep-6675>.

Leffingwell, D., & Widrig, D. (1999). *Managing Software Requirements*, Reading, Addison-Wesley, 529 s.

Letier, E., & Lamsweerde, A. van. (2002). High Assurance Requires Goal Orientation, Louvain-la-Neuve, Département d'Ingénierie Informatique Université Catholique de Louvain, saatavilla (viitattu 22.10.2018):  
[https://www.researchgate.net/publication/2538460\\_High\\_Assurance\\_Requires\\_Goal\\_Orientation](https://www.researchgate.net/publication/2538460_High_Assurance_Requires_Goal_Orientation).

Lopez, O. (2011). Requirement management, *Journal of Validation Technology*, 17(2), pp.78–86.

NASA. (2016). NASA Systems Engineering Handbook Rev 2., saatavilla (viitattu 20.12.2018): <https://www.nasa.gov/connect/ebooks/nasa-systems-engineering-handbook>.

Paakki, J. (2011). Ohjelmistojen vaatimusmäärittely, luentomateriaali, saatavilla (viitattu 25.10.2018): <https://www.cs.helsinki.fi/u/paakki/Vaatimus-11-Luentokalvot-1.pdf>.

Reiman, T., & Oedewald, P. (2008). Turvallisuuskriittiset organisaatiot: onnettomuudet, kulttuuri ja johtaminen, Helsinki, Edita, 475 s.

Reiman, T., Pietikäinen, E., & Oedewald, P. (2008). Turvallisuuskulttuuri: Teoria ja Arviointi, Helsinki, VTT, saatavilla (viitattu 12.01.2019): <https://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2008/P700.pdf>.

Reinecke, N., Spiller, P., Ungerman, D. (2007). The talent factor in Purchasing, McKinsey Quarterly, 2007(1), pp.6-9, saatavissa (viitattu 07.12.2018): [https://cloudfront.ualberta.ca//media/business/centres/cibs/documents/publications/theta\\_lentfactorinpurchasing.pdf](https://cloudfront.ualberta.ca//media/business/centres/cibs/documents/publications/theta_lentfactorinpurchasing.pdf).

Renlund, M., & Taskinen, V. (2004). Vaatimustenhallinnan soveltamismahdollisuudet ydinturvallisuuden parantamisessa Suomessa, Vantaa, STUK, saatavilla (viitattu 26.10.2018): <https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/123507/stuk-yto-tr203.pdf?sequence=1>.

Saikkonen, J. (2013). Miten tulla Ydinvoima-alan alihankkijaksi?, Pori, Prizztech Oy, saatavilla (viitattu 25.10.2018): [http://www.prizz.fi/sites/default/files/asiakaskuvat/Julkaisut/Ydinvoimaopas\\_nettiin.pdf](http://www.prizz.fi/sites/default/files/asiakaskuvat/Julkaisut/Ydinvoimaopas_nettiin.pdf)

Sandberg, J. (2004). Ydinturvallisuus, Kirjasarja: Säteily- ja ydinturvallisuus,. Osa 5, Hämeenlinna, Karisto Oy, 418 s.

Sommerville, I., & Sawyer, P. (1997). Requirements engineering: A good practice guide, Chichester, John Wiley & Sons, 391 s.

STUK. (2013). Ydinenergian käytön turvallisuusvalvonta: Vuosiraportti 2013, saatavilla (viitattu 25.10.2018): <http://www.julkari.fi/handle/10024/126874>.

STUK. (2014). Uudet YVL-ohjeet, niiden sisältö ja käyttöönotto, saatavilla (viitattu 08.01.2019): [https://ats-fns.fi/images/files/presentations/2014/ATS\\_vuosikokous\\_2014.pdf](https://ats-fns.fi/images/files/presentations/2014/ATS_vuosikokous_2014.pdf).

STUK. (2015). Säteilyturvakeskuksen määräys ydinvoimalaitoksen valmiusjärjestelyistä, perustelumistio, saatavilla (viitattu 11.11.2018): [https://www.finlex.fi/data/normit/42424/STUK-Y-2-2016\\_perust.fi.pdf](https://www.finlex.fi/data/normit/42424/STUK-Y-2-2016_perust.fi.pdf).

STUK. (2018). Ydinenergian käytön turvallisuusvalvonta: Vuosiraportti 2017, saatavilla (viitattu 11.11.2018): <http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/136315/stuk-b223.pdf?sequence=1>.

STUK. (2019a). Säännöstö, saatavilla (viitattu 30.03.2019): <https://www.stuklex.fi/fi/maarays>.

STUK. (2019b). Uuden säteilylain aiheuttamat muutokset, saatavilla (viitattu 02.03.2019): <https://www.stuk.fi/stuk-valvoo/sateilyn-kayttajalle/uuden-sateilylain-aiheuttamat-muutokset>.

Suomen perustuslaki, 731/1999, 1999, saatavilla:  
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990731>.

Toivonen, H., Rytömaa, T., & Vuorinen, A. (1988). Säteily ja Turvallisuus, Helsinki, Valtion Painatuskeskus, 640 s.

Työ- ja Elinkeinoministeriö. (2019a). Ydinenergian ylin johtaminen ja valvonta kuuluvat työ- ja elinkeinoministeriölle, saatavilla (viitattu 16.02.2019): <https://tem.fi/ydinenergiahallinto>.

Työ- ja Elinkeinoministeriö. (2019b). Ydinlaitoksen haltijalla on rajoittamaton vastuu, saatavilla (viitattu 02.03.2019): <https://tem.fi/ydinvastuu>.

Vaagen, H., Kaut, M., & Wallace, S. W. (2017). The impact of design uncertainty in engineer-to-order project planning, *European Journal of Operational Research*, (261), pp.1098–1109.

Valtioneuvoston asetus ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta, 717/2013, 17.10.2013, saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130717>.

van Weele, A. (2010). *Purchasing and Supply Chain Management - Analysis, Planning and Practice*, Andover, Cengage, 418 s.

Ward, G. (2008). *The Project Managers Guide to Purchasing - Contracting for goods and services*, Hampshire, Gower Publishing Ltd., 233 s.

Weng, J., Akasaka, S., & Onari, H. (2014). Acquiring orders using Requirement Specifications for Engineer-to-Order Production, *Journal of Japan Industrial Management Association*, 64(4E), pp.620–627.

WENRA. (2018). WENRA's Mission, saatavilla (viitattu 29.09.2018): <http://www.wenra.org/about-us/>.

Wiegers, K. E. (2003). *Software Requirements*, Redmond, Microsoft Press, 516 s.

Ydinenergia-asetus, 161/1988, 1988, saatavilla:  
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1988/19880161>.

Ydinenergialaki, 990/1987, 1987, saatavilla:  
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1987/19870990>.

Ydinvastuulaki, 484/1972, 1972, saatavilla:  
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1972/19720484>

Ydinlaitoksen rakentaminen ja käyttöönotto, YVL A.5, 15.11.2013, saatavilla:  
<https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLA-5>.

Ydinvoimalaitoksen turvallisuussuunnittelu, YVL B.1, 15.11.2013, saatavilla:  
<https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLB-1>.

Ydinlaitosten järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden luokittelu, YVL B.2, 15.11.2013, saatavilla: <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLB-2>.

Zave, P., Jackson, M. (1997). Four dark corners of requirements engineering, ACM Transactions on Software Engineering and Methodology, Vol.6 (1), pp.1-30.

LIITE 1.

[illegible]